

INPE-5270-TDI/446

**CARACTERIZAÇÃO FITOFISIONÔMICA DA RESTINGA DE CARAPEBÚS - MACAÉ (RJ)
A PARTIR DE IMAGENS DIGITAIS DO SENSOR TM - LANDSAT 5**

Ana Lucia Costa de Oliveira-Galvão

**Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Vitor
Celso de Carvalho, aprovada em novembro de 1990.**

**INPE
São José dos Campos
Janeiro de 1991**

SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5270-TDI/446

**CARACTERIZAÇÃO FITOFISIONÔMICA DA RESTINGA DE CARAPEBÓS - MACAÉ (RJ)
A PARTIR DE IMAGENS DIGITAIS DO SENSOR TM - LANDSAT 5**

Ana Lucia Costa de Oliveira-Galvão

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. Vitor
Celso de Carvalho, aprovada em novembro de 1990.

INPE
São José dos Campos
Janeiro de 1991

621.376.5


OLIVEIRA-GALVÃO, A.L.C. de

Caracterização fitofisionômica da Restinga de Carapebús - Macaé (RJ) a partir de imagens digitais do sensor TM - Landsat 5. / A.L.C. de Oliveira-Galvão. -- São José dos Campos: INPE, 1991. 223p. -- (INPE-5270-TDI/446)


1. Caracterização fitofisionômica 2. Sensoriamento remoto. 3. Processamento digital. 3. Sensor TM. 4. Restinga. I. Título

Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

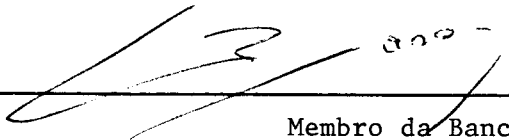
Dr. Vitor Celso de Carvalho


Presidente/Orientador

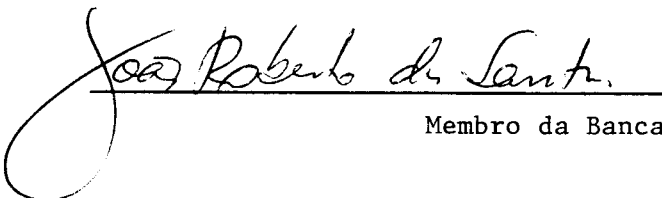
Dr. Fernando Roberto Martins


Membro da Banca
-Convidado-

Dr. Gerald Jean Francis Banon


Membro da Banca

Dr. João Roberto dos Santos


Membro da Banca

Candidata: Ana Lúcia Costa de Oliveira

São José dos Campos, 30 de novembro de 1990

Aos meus pais

Mary e Benício

Ao meu marido

Wougran

Ao meu sobrinho

Marcelo

AGRADECIMENTOS

Ao término do trabalho realizado, a autora expressa seus agradecimentos às pessoas e entidades que auxiliaram de forma fundamental no desenvolvimento das atividades e/ou na obtenção dos resultados ora apresentados.

Ao Dr. Vitor Celso de Carvalho, orientador desta dissertação, cuja contribuição foi expressa a partir das valiosas sugestões, das discussões promovidas, do auxílio técnico e espiritual, da gestão dos recursos solicitados à FAPESP para a execução das atividades previstas e, de maneira especial, da indispensável participação ativa nos trabalhos de campo realizados.

Ao Dr. Gerald Jean Francis Banon, pelas críticas e sugestões efetuadas no desenvolver dos trabalhos, especialmente com relação ao "Processamento Digital de Imagens".

Ao Dr. João Roberto dos Santos (INPE) e ao Professor Dr. Fernando Roberto Martins (UNICAMP) pelas contribuições a partir dos comentários e sugestões fornecidos durante a defesa da dissertação.

Aos Professores Raimundo P.B. Henriques (UnB) e Dorothy S.D. de Araújo (FEEMA), pela valiosa contribuição nas atividades de reconhecimento da área de estudo, seleção das técnicas de coleta dos dados de campo e análise dos resultados obtidos.

Ao meu marido, geólogo Wougran Soares Galvão, pela inestimável contribuição, a partir das discussões fomentadas e críticas realizadas no desenvolvimento das atividades, pela insubstituível participação nos trabalhos de campo, pelo estímulo constante; e pela criteriosa revisão técnica do texto final.

À extinta Secretaria Especial do Meio Ambiente (SEMA), especialmente na pessoa do Dr. Roberto Messias Franco, e ao Instituto Bra

sileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), pelo estímulo à realização do curso e apoio instrumental e logístico fornecido para a concretização dos trabalhos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento do projeto proposto; que, especialmente, viabilizou a realização dos trabalhos de campo e favoreceu a análise e editoração dos resultados alcançados.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas de pesquisa.

Ao Dr. Luiz Guimarães de Azevedo e à geógrafa Hidely Grassi Rizzo que, através da orientação técnica e do reconhecimento e valorização constantes dos esforços direcionados à causa ambiental, nortearam os objetivos que fundamentaram a execução deste trabalho.

Em especial, aos meus pais que, através do estímulo e dedicação constantes, foram sempre os meus principais incentivadores à busca incessante do aprimoramento espiritual, pessoal e profissional.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma metodologia de caracterização fitofisionômica da restinga, a partir de dados digitais do Sensor "Thematic Mapper" (TM) - Landsat 5. A área estudada localiza-se na porção nordeste do Estado do Rio de Janeiro, no Município de Macaé e é denominada Restinga de Carapebús. A escala de trabalho foi definida em 1:50,000. As bandas do espectro refletido do Sensor TM foram submetidas a diferentes técnicas de processamento digital, com o uso do Analisador de Imagens Multiespectrais SITIM-150. As bandas foram corrigidas para efeitos de radiometria e atenuação atmosférica. Sequencialmente, foram submetidas a técnicas de seleção de bandas espectrais, realce (Transformação por Componentes Principais, Transformação por Decorelação Espectral, Razão de Bandas Espectrais, Transformação por IHS e formação de Composições Coloridas), classificação digital não supervisionada (critério da Distância Euclidiana - K-Médias) e supervisionada (critério da Máxima Verossimilhança - Maxver). Considerando as informações adquiridas no campo referentes à área e ao tema de estudo, os produtos gerados foram analisados e submetidos à avaliação. A partir da análise da qualidade de informação presente em cada imagem realçada e/ou classificada, foram selecionados aqueles produtos que se destacaram como mais apropriados aos objetivos do trabalho, a saber: Composição Colorida formada pelas bandas TM 3(azul)-4(vermelho)-5(verde), realçada pela técnica de Transformação por IHS; Composição Colorida formada pelas bandas TM 3(vermelho)-4(verde)-5(azul), realçada pela técnica de Transformação por Decorelação; Classificação Digital Supervisionada (Maxver), das bandas TM 1-2-3-4-5-7; e Classificação Digital Supervisionada (Maxver), das três primeiras imagens Componentes Principais obtidas a partir das bandas espectrais TM 1-2-3-4-5-7. De posse das informações fornecidas por estes produtos, em associação com aquelas obtidas no campo, as formações vegetais detectadas pelo Sensor TM foram cartografadas e descritas. Estas Formações foram assim denominadas: Formação de Mata, Formação de Clusia "Clara", Formação de Clusia "Escura", Formação de Ericacea, Formação Graminóide e Formação Brejosa. A cartografia realizada permitiu também a identificação de áreas sob intensa ação antrópica.

ABSTRACT

This work presents the development of the methodology for characterization of the vegetation physiognomy in Restinga areas, by digital data obtained by the Thematic Mapper Sensor from Satellite LANDSAT-5. As a test-site was chosen the Restinga of Carapebús, located in northern of the Rio de Janeiro State, in the region of Macaê. The scale of work was defined at 1:50,000. The visible and reflected infrared bands of Thematic Mapper Sensor were submitted at different digital image processing techniques, with the use of image analysis system SITIM-150. The bands were corrected to effects of radiometry and atmospheric attenuation. Sequentially, they one were submitted at techniques of bands selection, enhancement (Principal Components Transformation, Spectral Decorrelation Transformation, Band Ratio, IHS Transformation and Color Composite) and unsupervised (criteria of Distance Euclidean - KMedias) and supervised (criteria of Maximum Likelihood - Maxver) digital classification. Considering the field data referring do area and theme of study, the products generated were analysed and submitted to evaluation. Based on visual analysis of the quality information presents in each enhanced and/or classified image, were selected those products that showed a better performance to attend on the objectives this work. The products selected were: Color Composite of bands TM 3-4-5 (with blue, red and green, respectively) enhanced by technique of IHS Transformation; Color Composite of bands TM 3-4-5 (with red, green and blue, respectively) enhanced by technique of Decorrelation Transformation; Supervised Digital Classification (Maxver) of bands TM 1-2-3-4-5-7 and Supervised Digital Classification (Maxver) of the first three principal components images obtained of bands TM 1-2-3-4-5-7. With the information extracted of the products analysed, in association with those one collected on ground, the vegetation formation detected by Sensor TM were cartographed and described. These formation were denominated: "Forest Formation", "Clear Clusia Formation", "Dark Clusia Formation", "Ericacea Formation", "Gramineous Formation" and "Marsh Formation". The cartography realized also possibilited the identification of areas submitted to intensive antropic activity.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xx
LISTA DE TABELAS.....	xxiv
 <u>CAPÍTULO 1 - APRESENTAÇÃO</u>	 1
 <u>CAPÍTULO 2 - CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS</u>	 5
2.1 - As restingas do Brasil.....	5
2.1.1 - O espaço geográfico.....	5
2.1.2 - O ambiente físico.....	6
2.1.3 - O ambiente biológico.....	8
2.2 - O sensoriamento remoto e o estudo da vegetação.....	11
2.2.1 - Conceitos básicos.....	11
2.2.2 - Análise geral dos produtos de sensores remotos.....	15
2.3 - Métodos convencionais.....	21
2.3.1 - Análise visual de imagens.....	23
2.3.2 - Processamento digital de imagens.....	26
2.4 - Técnicas de processamento digital de imagens.....	28
2.4.1 - Técnicas de pré-processamento de imagens digitais.....	28
2.4.1.1 - Atenuação dos efeitos atmosféricos.....	28
2.4.1.2 - Correção radiométrica.....	30
2.4.1.3 - Correção geométrica.....	31
2.4.2 - Técnicas de processamento de realce de imagens digitais...	32
2.4.2.1 - Transformação por componentes principais.....	32
2.4.2.2 - Transformação por decorrelação de bandas espectrais.....	33
2.4.2.3 - Razão de bandas espectrais.....	34
2.4.2.4 - Ampliação linear de contraste ("Contrast Stretch"),.....	36
2.4.2.5 - Composições coloridas.....	37
2.4.2.6 - Transformação IHS/RGB.....	40
2.4.3 - Técnicas de classificação de imagens digitais.....	41
2.4.3.1 - Classificação digital não supervisionada.....	41
2.4.3.2 - Classificação digital supervisionada.....	43
2.4.3.3 - Classificação digital híbrida.....	45

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA</u>	47
3.1 - Revisão bibliográfica.....	47
3.2 - Seleção da área de estudo.....	47
3.2.1 - Contexto regional.....	49
3.2.2 - Localização e abrangência.....	49
3.2.3 - Análise do ambiente físico e aspectos climáticos.....	51
3.2.4 - Análise do ambiente biológico.....	53
3.3 - Seleção de imagens, material complementar e equipamentos,...	54
3.3.1 - Escolha da cena.....	54
3.3.2 - Identificação das bandas espectrais.....	55
3.3.3 - Seleção do módulo de estudo.....	55
3.3.4 - Aquisição de material complementar.....	55
3.3.5 - Equipamentos utilizados.....	56
3.4 - Pré-Processamento.....	57
3.4.1 - Correção dos efeitos de atenuação atmosférica.....	57
3.4.2 - Correção radiométrica.....	57
3.4.3 - Análise complementar.....	58
3.5 - Seleção de bandas espectrais.....	58
3.6 - Técnicas de realce.....	59
3.6.1 - Transformação por componentes principais.....	59
3.6.2 - Transformação por decorrelação de bandas espectrais.....	60
3.6.3 - Geração e seleção de imagens razão.....	60
3.6.4 - Transformação por IHS.....	61
3.6.5 - Formação de composições coloridas.....	61
3.6.5.1 - Bandas espectrais TM.....	62
3.6.5.2 - Imagens componentes principais.....	62
3.6.5.3 - Imagens decorrelacionadas.....	62
3.6.5.4 - Imagens razão.....	63
3.6.5.5 - Transformação IHS/RGB.....	63
3.7 - Classificação digital não supervisionada.....	63
3.8 - Fotoanálise.....	64
3.9 - Primeiro trabalho de campo.....	65
3.9.1 - Reconhecimento e caracterização do ambiente.....	65

	<u>Pág.</u>
3.9,2 - Caracterização fitofisionômica.....	66
3.9,2,1 - Método dos quadrantes.....	66
3.9,2,2 - Método de intercepção de linha.....	67
3.9,2,3 - Método dos quadrados.....	69
3.10 - Análise dos dados de campo.....	72
3.10.1 - Formações florestais.....	73
3.10.2 - Formações arbustivas.....	74
3.10.3 - Formações graminóides.....	75
3.11 - Classificação digital supervisionada.....	76
3.12 - Análise dos produtos gerados.....	76
3.12.1 - Fotointerpretação de composições coloridas.....	77
3.12.2 - Fotoanálise de classificações digitais supervisionadas...	77
3.13 - Definição de transecções e segundo trabalho de campo.....	78
3.13,1 - Localização das transecções.....	78
3.13,2 - Atividades de campo.....	78
3.14 - Análise conjunta das informações.....	79
3.14,1 - Organização dos dados.....	79
3.14,2 - Seleção dos produtos.....	79
3.15 - Caracterização fitofisionômica.....	80
3.16 - Análise espectral dos dados.....	80
3.17 - Apresentação dos resultados.....	80
 <u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	 81
4.1 - Avaliação das técnicas de pré-processamento digital.....	81
4.1,1 - Correção dos efeitos de atenuação atmosférica.....	81
4.1,2 - Correção radiométrica.....	82
4.1,3 - Análise complementar.....	82
4.2 - Seleção de bandas espectrais.....	84
4.3 - Avaliação das técnicas de realce.....	87
4.3,1 - Composição colorida de bandas TM.....	87
4.3,2 - Transformação por componentes principais.....	87
4.3,3 - Transformação por decorrelação de bandas espectrais.....	91
4.3,4 - Razão de bandas espectrais.....	92

	<u>Pág.</u>
4.3.5 - Transformação por IHS.....	96
4.4 - Classificação digital não supervisionada.....	97
4.5 - Fotoanálise dos produtos gerados.....	101
4.5.1 - Fotoanálise de composições coloridas.....	101
4.5.2 - Fotoanálise de classificações digitais não supervisionadas (K-Médias).....	102
4.5.2.1 - K-Médias de bandas espectrais TM.....	103
4.5.2.2 - K-Médias de imagens componentes principais.....	104
4.5.2.3 - K-Médias de imagens razão.....	104
4.5.2.4 - Análise geral.....	105
4.6 - Primeiro trabalho de campo.....	106
4.7 - Classificação digital supervisionada.....	109
4.8 - Análise dos produtos gerados.....	113
4.8.1 - Fotointerpretação das composições coloridas.....	113
4.8.1.1 - Composição colorida obtida a partir das bandas espec_ trais do Sensor TM.....	114
4.8.1.2 - Composição colorida obtida a partir de imagens componen_ tes principais.....	121
4.8.1.3 - Composição colorida obtida a partir de imagens decorrela_ cionadas.....	122
4.8.1.4 - Composição colorida obtida a partir de imagens razão....	123
4.8.1.5 - Composição colorida obtida a partir da transformação por IHS.....	125
4.8.2 - Fotoanálise das classificações digitais supervisionadas - Maxyer.....	126
4.8.2.1 - Análise geral.....	126
4.8.2.2 - Classificação Maxyer de bandas TM.....	128
4.8.2.3 - Classificação Maxyer de imagens componentes principais..	129
4.8.2.4 - Classificação Maxyer de imagens razão.....	130
4.9 - Segundo trabalho de campo.....	131
4.9.1 - Transeção nº 1.....	131
4.9.2 - Transeção nº 2.....	134
4.9.3 - Transeção nº 3.....	136
4.9.4 - Transeção nº 4.....	138

	<u>Pág.</u>
4.10 - Análise conjunta das informações.....	138
4.11 - Caracterização fitofisionômica.....	141
4.11.1 - Formações florestais.....	142
4.11.1.1 - Formação de Mata de Restinga.....	142
4.11.1.2 - Formação de Mata Paludosa.....	145
4.11.1.3 - Formação de Mata Seca.....	148
4.11.1.4 - Observações complementares.....	150
4.11.2 - Formações arbustivas.....	151
4.11.2.1 - Formação de Clusia.....	151
4.11.2.2 - Formação de Ericacea.....	163
4.11.2.3 - Formação de Pôs-Praia.....	168
4.11.3 - Formações herbáceas.....	169
4.11.3.1 - Formação Graminóide.....	169
4.11.3.2 - Formação Brejosa.....	172
4.11.3.3 - Formação Praia Graminóide.....	172
4.12 - Análise espectral dos dados.....	175
4.12.1 - Formação de Mata.....	175
4.12.2 - Formações de Clusia "Clara" e Clusia "Escura".....	176
4.12.3 - Formações de Ericacea, Graminóide e Brejosa.....	178
4.12.4 - Análise geral.....	179
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....</u>	181
5.1 - Conclusões.....	181
5.2 - Recomendações.....	185
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	189
APÊNDICE A - QUESTIONÁRIO APLICADO NO CAMPO PARA AVALIAÇÃO DAS REAS AMOSTRAIS.....	211
APÊNDICE B - TABELAS.....	219
APÊNDICE C - MAPA DE VEGETAÇÃO DA RESTINGA DE CARAPEBÚS-MACAE (RJ)	227

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Curva espectral padrão da vegetação,.....	12
2.2 - Localização das bandas espectrais do Sensor TM com relação a curva espectral padrão da vegetação,.....	20
2.3 - Gráfico de probabilidade de classificação correta com relação a distância Jeffreys-Matusita (JM),.....	38
3.1 - Fluxograma de atividades,.....	48
3.2 - Localização da área de estudo,.....	50
3.3 - Diagrama climático da região de Macaé (RJ),.....	52
3.4 - Módulo de estudo,.....	56
3.5 - Esquema de aplicação do Método do Quadrante,.....	68
3.6 - Esquema de aplicação do Método de Intercepção de Linha - Vista Lateral,.....	70
3.7 - Esquema de aplicação do Método de Intercepção de Linha - Vista de Cima,.....	71
3.8 - Padrão de classes de cobertura do solo,.....	72
4.1 - Composição colorida formada a partir do triplete selecionado de bandas TM,.....	88
4.2 - Representação gráfica da participação das bandas espectrais na formação das imagens componentes principais (CP), obtidas do subconjunto de bandas 1-2-3-4-5-7 do Sensor TM,.....	89
4.3 - Representação gráfica da porcentagem de variância apresentada pelas imagens componentes principais (CP) obtidas do subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7,.....	90
4.4 - Composição colorida formada a partir das três primeiras imagens componentes principais (CP) obtidas do subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7,.....	91
4.5 - Composição colorida formada a partir das imagens decorrelacionadas, geradas do subconjunto de bandas TM 3-4-5,.....	93
4.6 - Composição colorida formada a partir das imagens razão selecionadas,.....	96
4.7 - Composição colorida formada a partir das imagens realçadas a partir da transformação IHS,.....	97

4,8 - Imagem classificada digitalmente, a partir da aplicação do algoritmo K-Médias às bandas espectrais TM 1-2-3-4-5-7.....	98
4,9 - Imagem classificada digitalmente, a partir da aplicação do algoritmo K-Médias às três primeiras imagens componentes principais, geradas do subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7	99
4,10 - Imagem classificada digitalmente, a partir da aplicação do algoritmo K-Médias ao quarteto de imagens razão selecionado TM2/TM4-TM3/TM4-TM3/TM5-TM7/TM2.....	100
4,11 - Posicionamento das amostras analisadas no primeiro trabalho de campo.....	107
4,12 - Imagem classificada digitalmente a partir da aplicação do algoritmo Maxver ao subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7...	110
4,13 - Imagem classificada digitalmente a partir da aplicação do algoritmo Maxver ao subconjunto de imagens componentes principais (CP1-CP2-CP3) obtido das bandas TM 1-2-3-4-5-7.....	111
4,14 - Imagem classificada digitalmente a partir da aplicação do algoritmo Maxver ao subconjunto de imagens razão; TM2/TM4 - TM3/TM4-TM3/TM5-TM7/TM2.....	112
4,15 - Posicionamento das transeções realizadas no segundo trabalho de campo.....	132
4,16 - Perfil esquemático da transeção nº 1.....	133
4,17 - Perfil esquemático da transeção nº 2.....	135
4,18 - Perfil esquemático da transeção nº 3.....	137
4,19 - Perfil esquemático da transeção nº 4.....	139
4,20 - Aspecto geral do desmatamento na Formação de Mata de Restinga - área amostral nº 9.....	143
4,21 - Aspecto do contato entre as Formações de Mata de Restinga e Clusia.....	144
4,22 - Aspecto geral da Formação de Mata Paludosa.....	146
4,23 - Devastação na área de Mata Paludosa - área amostral nº 11..	147
4,24 - Terreno "limpo" após desmatamento na área de domínio da Mata Paludosa - proximidades da área amostral nº 11.....	147
4,25 - Aspecto geral da "Mata Seca"; ao fundo área amostral nº 12.	148

4.26 - "Mata Seca" em contato com a Formação de Clusia - área amostral nº 11.....	149
4.27 - Aspecto geral da Formação de Clusia.....	152
4.28 - Área de transição entre as Formações de Clusia e Mata de Restinga - proximidades da área amostral nº 9.....	153
4.29 - Aspecto da moita na Formação de Clusia "Escura" - área amostral nº 5.....	154
4.30 - Aspecto da moita na Formação de Clusia "Escura" - área amostral nº 13.....	155
4.31 - Aspecto geral da cobertura herbácea, entre moitas, da Formação de Clusia "Escura" - área amostral nº 13.....	157
4.32 - Presença de esterco na Formação de Clusia "Clara" - área amostral nº 1.....	158
4.33 - Trilhas de animais na Formação de Clusia "Clara" - área amostral nº 2.....	159
4.34 - Coleta de lenha na Formação de Clusia "Clara" - área amostral nº 1.....	159
4.35 - Trilhas de veículos pesados na Formação de Clusia "Clara" - área amostral nº 2.....	160
4.36 - Limites de propriedade na Formação de Clusia "Clara" - área amostral nº 1.....	160
4.37 - Exploração de areia na Formação de Clusia "Clara" - proximidades da lagoa Comprida.....	161
4.38 - Aspecto geral da Formação de Clusia "Clara" - área amostral nº 1.....	162
4.39 - Formação de Ericacea em área submersa - área amostral nº 6.	164
4.40 - Formação de Ericacea em terreno inundável periodicamente - área amostral nº 10.....	164
4.41 - Formação de Ericacea em terreno nunca inundado - área amostral nº 6.....	165
4.42 - Formação de Ericacea, abrangência da extensão de Pteridófitas - área amostral nº 6.....	166
4.43 - Área de transição entre as Formações de Ericacea e Clusia - área amostral nº 6.....	166

	<u>Pág.</u>
4.44 - Evidência da destruição da vegetação na Formação de Erica cea - área amostral nº 10.....	167
4.45 - Aspecto geral da Formação de Pós-Praia. Ao fundo, a Forma ção Graminóide Úmida.....	169
4.46 - Aspecto geral da Formação Graminóide - área amostral nº 4..	170
4.47 - Trilha de gado na Formação Graminóide - área amostral nº 3.	171
4.48 - Rebanho bovino na Formação Graminóide. Contato com a Forma ção de Clusia - área amostral nº 4,.....	171
4.49 - Área de transição entre as Formações Graminóide e Clusia - á rea amostral nº 3,.....	172
4.50 - Contato entre as Formações de "Mata Seca" e Brejosa (ao fun do) - área amostral nº 11,.....	173
4.51 - Formação Brejosa, ao fundo aparece a Formação de "Mata Se ca" devastada - área amostral nº 11,.....	173
4.52 - Aspecto geral da Formação Praia Graminóide - proximidades da área amostral nº 9,.....	174
4.53 - Via de acesso que atravessa a Formação Praia Graminóide. Es ta via interliga a cidade de Macaé a lagoa Paulista.....	175
4.54 - Curvas espectrais obtidas a partir dos valores digitais mé dios dos "pixels" correspondentes às formações vegetais de interesse, nas bandas espectrais TM 1-2-3-4-5-7 (05/07/88),	177

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Características gerais do Sistema LANDSAT 5.....	18
2.2 - Características gerais do Sensor "Thematic Mapper" - TM....	19
2.3 - Aplicações potenciais do Sensor TM para o estudo da vegetação.....	22
4.1 - Análise comparativa dos dados estatísticos apresentados pelas bandas espectrais antes e após a aplicação das técnicas de pré-processamento digital.....	83
4.2 - Ordenação decrescente dos melhores tripletes de bandas, obtida a partir da análise da matriz de classificação de amostras Maxver (Máxima Verossimilhança).....	86
4.3 - Potencial de detecção e discriminação de formações vegetais a partir da composição colorida formada pelas bandas espectrais TM 3-4-5.....	115
4.4 - Potencial de detecção e discriminação de formações vegetais a partir da composição colorida formada pelas três primeiras imagens componentes principais, geradas do subconjunto de bandas espectrais TM 1-2-3-4-5-7.....	116
4.5 - Potencial de detecção e discriminação de formações vegetais a partir da composição colorida formada pelas três imagens decorrelação geradas do subconjunto de bandas espectrais TM 3-4-5.....	117
4.6 - Potencial de detecção e discriminação de formações vegetais a partir da composição colorida formada pelas imagens razão TM3/TM4-TM3/TM5-TM7/TM2.....	118
4.7 - Potencial de detecção e discriminação de formações vegetais a partir da composição colorida formada pelas imagens TM 3-4-5, realçada por IHS.....	119
4.8 - Análise do desempenho de classificação Maxver das amostras de classes de vegetação.....	127
4.9 - Dados referentes às características da Mata de Restinga....	143
4.10 - Dados referentes às características da "Mata Seca".....	150

4.11 - Dados referentes às características das moitas da Formação de Clusia "Escura",.....	156
4.12 - Cobertura herbácea (%) das áreas apresentadas entre moitas na Formação de Clusia "Escura",.....	156
4.13 - Dados referentes às características das moitas da Formação de Clusia "Clara",.....	161
4.14 - Cobertura herbácea (%) das áreas apresentadas entre moitas na Formação de Clusia "Clara",.....	162
4.15 - Dados referentes às características das moitas na Formação de Ericacea,.....	168

CAPÍTULO 1

APRESENTAÇÃO

As restingas são extensas planícies arenosas quaternárias, formadas por depósitos litorâneos, que se distribuem sob a forma de cordões de areia. Estas planícies estendem-se ao longo da costa brasileira de norte a sul do país. Localizadas entre os ambientes marinho e continental, as restingas constituem ecossistemas que apresentam intensa complexidade estrutural, diversidade biológica e, conseqüentemente, considerável fragilidade. Portanto, em decorrência de suas características intrínsecas, estes ecossistemas merecem atenção especial dos ambientalistas.

Sujeitas a forte pressão antrópica desde os tempos do Brasil colônia, as restingas vêm sendo fortemente alteradas e, em sua maior parte, substituídas por consideráveis empreendimentos imobiliários. Paradoxalmente, apesar destas atividades de exploração de seus recursos naturais e ocupação de seus territórios de abrangência ora em curso, estes ecossistemas encontram-se protegidos "por lei" no território brasileiro.

A carência de estudos referentes a caracterização dos recursos naturais das restingas do Brasil, é um dos principais fatores responsáveis pelo descaso apresentado pelo governo e povo brasileiros no sentido de proteger, na prática, estes ecossistemas. Estes trabalhos de caracterização devem basear-se nos aspectos físicos, referentes aos processos de formação e evolução das restingas; e biológicos, versando sobre as características da flora, fauna e homem, que interagem nestes ecossistemas. Realçando, desta maneira, as condições ambientais, a dinâmica da área e os processos destrutivos, que vêm sendo desenvolvidos nas áreas de restinga.

O presente trabalho objetiva fundamentalmente a caracterização fitofisionômica da Restinga de Carapebús - Macaê (RJ), a partir de dados digitais do Sensor TM ("Thematic Mapper") - LANDSAT 5. Esta res

tinga, representa um dos últimos exemplares deste ecossistema, em bom estado de conservação, na costa sudeste brasileira. Em decorrência disto, é destacada por vários pesquisadores como área prioritária para a criação de uma Unidade de Conservação, de caráter preservacionista.

A hipótese básica, que fundamenta este trabalho, é que o Sensor TM, presente no satélite imageador dos recursos naturais LANDSAT 5, adquire dados espectrais que se relacionam diretamente às características fitofisionômicas da restinga. Desta forma, a análise de seus dados, em associação a informações adquiridas no campo, permitem a caracterização da fisionomia da vegetação da área de estudo.

Considerando que inexistia uma metodologia definida de estudo da vegetação de restinga, a partir dos dados digitais de sensores remotos imageadores, que operam a nível orbital, foram definidos alguns objetivos específicos ao presente trabalho. Dentre eles:

- O desenvolvimento de uma metodologia de caracterização fitofisionômica da restinga, a partir de dados do Sensor TM em meio digital;
- A avaliação do potencial das bandas espectrais e/ou imagens do Sensor TM, realçadas e/ou classificadas digitalmente, para os estudos referentes à cobertura vegetal da Restinga de Carapebús;
- A classificação fitofisionômica da restinga a partir da análise visual e classificação digital de bandas espectrais e imagens realçadas do Sensor TM.

Os produtos de sensores remotos, que operam a nível orbital, apresentam elevada potencialidade aos estudos referentes a ambientes dinâmicos, cuja complexidade de feições seja característica e àqueles em que amplas áreas de abrangência sejam envolvidas. Este potencial baseia-se nos parâmetros relativos às resoluções temporal, espectral, radiométrica e espacial, inerentes aos sensores.

O Sensor TM, presente e ora em operação no satélite imageador LANDSAT 5, apresenta características que o destacam dos demais sensores, visando o cumprimento dos objetivos propostos neste trabalho. Dentre elas, destaca-se sua resolução espectral, favorável à detecção de nuances fisionômicas e ao registro do comportamento espectral dos diferentes alvos que compõem a cobertura vegetal. Auxiliando a visualização das variações detectadas e registradas pelo sistema sensor, são empregadas, neste trabalho, algumas técnicas de processamento digital de imagens.

A caracterização fitofisionômica da Restinga de Carapebús - Macaé (RJ) e a metodologia de estudo, ora apresentadas, visam fundamentalmente contribuir a estudos futuros desses ecossistemas e subsidiar ações de pesquisa e proteção de seus recursos naturais.

CAPÍTULO 2

CONSIDERAÇÕES TEÓRICAS

A partir de revisão bibliográfica, foram selecionados: o tema, a área de estudo e as técnicas a serem empregadas para o cumprimento dos objetivos do presente trabalho.

A seguir, são apresentados alguns dados e informações, úteis a compreensão e a justificação da seleção da vegetação de Restinga, o emprego das técnicas de Sensoriamento Remoto, e o desenvolvimento da metodologia de caracterização fitofisionômica, a partir de imagens digitais do Sensor TM - LANDSAT 5.

2.1 - AS RESTINGAS DO BRASIL

As restingas são ecossistemas complexos de transição entre os ambientes marinho e continental. Apresentam-se intrinsecamente frágeis e historicamente alteradas, a partir da exploração e ocupação humana.

2.1.1 - O ESPAÇO GEOGRÁFICO

Com relação à vastidão de seu território, a costa brasileira é considerada particularmente extensa. Representando cerca de 1/3 do contorno do país (Bernardes, 1966) e com extensão aproximada de 9000 Km (Suguio e Tessler, 1984), ela caracteriza-se pela forte linearidade, com reduzidas reentrâncias (baías e golfões) e saliências (pontas) (Domingues, 1965).

As restingas estão presentes no litoral oriental e meridional brasileiro, sobretudo do sul da Bahia (Caravelas) até o Estado do Rio de Janeiro (Bernardes, 1966). Ocupam amplas planícies arenosas quaternárias, isolando lagoas, formando ilhas e cobrindo cerca de 5000 Km do litoral brasileiro (Araújo e Lacerda, 1987).

2.1.2 - O AMBIENTE FÍSICO

O dinamismo das águas oceânicas resulta em ações destrutivas (de erosão) e construtivas (de deposição) que determinam as formas de relevo das costas litorâneas (Christofolletti, 1980).

O litoral brasileiro apresenta-se sob as formas: tabulares, escarpadas e baixas-planas.

- 1) As formas tabulares (do Grupo Barreiras), por vezes escarpadas, são observadas do Estado do Piauí até o Recôncavo Baiano, onde se destacam as escarpas entre o Cabo de São Roque (RN) e o Recôncavo (BA).
- 2) As formações escarpadas, derivadas de processos erosivos sobre maciços rochosos de origem cristalina, são observadas entre os Estados de São Paulo e Santa Catarina.
- 3) As formas baixas-planas, oriundas de sedimentação Quaternária, são tão presentes entre o sul do Recôncavo Baiano até o extremo norte do Estado de São Paulo, entre o Rio Oiapoque (AP) e o Estado do Maranhão e no extremo sul do país (RS). São subdivididas entre Restingas e Mangues (Bernardes, 1966; Araújo e Lacerda, 1987).

As restingas são caracterizadas por extensas planícies sedimentares arenosas, modeladas a partir de variações no nível dos oceanos ocorridas entre sete e dois mil anos atrás - Holoceno (Maio, 1977; Araújo e Lacerda, 1987). Sua formação é determinada por sedimentos predominantemente arenosos, constituídos por cascalhos, seixos e elementos mais finos, que tomam como ponto de apoio cabos e saliências do litoral e se depositam em faixas arenosas paralelas a linha de praia, entre os movimentos de transgressão (avanço) e regressão (reco) das águas do mar com relação ao continente.

Lamego (1946) aponta três fatores como condicionantes para a formação das restingas: a presença de mares rasos; uma corrente litorânea que roce uma ilha ou borda continental; e, a abundância de sedimentos não consolidados em movimento na água.

A origem dos sedimentos inconsolidados pode estar relacionada: a presença de rios carregados de partículas em suspensão; ao fundo do mar revolvido pelas sacas; e/ou, ao ataque erosivo das sacas sobre as saliências litorâneas (Christofoletti, 1980).

Segundo Hueck (1955) as planícies arenosas quaternárias, que constituem as restingas, são fisiograficamente subdivididas em:

- 1) Praia - Área plana vizinha ao mar, sujeita a inundações pelas marés altas, que determinam a remodelagem ou remoção de seus sedimentos.
- 2) Antepraia - Localizada logo após a praia, atingida pelas águas do mar nos períodos de ressaca. Caracteriza-se pela presença de cristas, ou feições positivas, que são corpos tabulares de areia, formados pela deposição de sedimentos promovida pelas ressacas. As cristas são alternadas com as canaletas, ou depressões, por onde as águas correm no momento de maré vazante.
- 3) Dunas - Morros ou cômodos de areia localizados fora das zonas de marés. A formação de dunas é determinada pela existência de material de constituição frouxa, submetido à ação de transporte pelo vento. Apresentam grande aquecimento e seca temporária das camadas superficiais do solo, submetidas à forte insolação.
- 4) Zonas Baixas - Áreas úmidas ou inundadas, dado à proximidade do lençol freático; interligam-se às dunas.

- 5) Zonas de Contato com os contrafortes cristalinos e sedimentares
Áreas planas, localizadas na porção distal da restinga com relação ao mar. Apresentam altas pluviosidade e umidade relativa do ar.
- 6) Lagoas - Formadas a partir da separação do mar, através de cordões arenosos, de parcelas de água que se transformam em lagoas litorâneas. Durante as marés altas equinociais, as vagas chegam a atingir as lagoas suplantando as barras de restinga.

2.1.3 - O AMBIENTE BIOLÓGICO

Com referência à fauna de restinga, reduzidos e esparsos trabalhos são encontrados, dificultando sua caracterização geral. Maciel (1990) destaca que: com relação aos mamíferos, aparentemente não existe uma fauna característica específica, sendo formada por um subconjunto da Floresta Atlântica, localizada principalmente nas formações florestais. Endemismos são observados nas classes de répteis e insetos (inclusive de espécies ameaçadas de extinção), que ocorrem nas formações abertas. Dentro os peixes destacam-se as espécies anuais que vivem em ambientes aquáticos temporários.

A vegetação das restingas é distribuída em diferentes zonas em função do posicionamento com relação ao mar, que determina diferentes estágios de sucessão vegetal. Dansereau (1947) destaca que as zonas são caracterizadas por associações de espécies colonizadoras, distribuídas em função das condições ecológicas do meio. Enquanto que os aspectos dos processos evolutivos da vegetação podem ser compreendidos através dos microclimas apresentados nas diferentes zonas (Dau, 1960).

Considerando a subdivisão fisiográfica apresentada por Hueck (1955), são as seguintes as características das espécies vegetais que colonizam as diferentes zonas:

- 1) As praias são caracterizadas pela ausência de vegetação instalada, dado às condições do ambiente, com inundações periódicas do mar.
- 2) As antepraias exibem cobertura vegetal predominantemente herbácea rasteira. As plantas são halófitas e apresentam adaptações às condições de forte insolação e solos pobres em substâncias nutritivas.
- 3) As dunas, em função da cobertura vegetal, são divididas em móveis, semifixas e fixas. As dunas móveis são marcadas pela rala cobertura vegetal, apresentada em tufo, adaptada à vida em áreas que se movimentam. Nas dunas semifixas estabelecem-se ervas e arbustos. O maior adensamento desta cobertura vegetal e o surgimento da vegetação arbustiva lenhosa caracterizam as dunas fixas.
- 4) As zonas baixas, cuja cobertura vegetal depende da profundidade das depressões do terreno. Uma vegetação predominantemente herbácea alta caracteriza as depressões que são periodicamente inundadas. As depressões consideradas enxutas são caracterizadas pelo predomínio da vegetação herbácea com a presença da cobertura arbustiva rala. Nas depressões mais profundas, permanentemente cobertas pelas águas, formando lagoas, são encontradas as plantas hidrófilas, marcadas pelos talos submersos e raízes fixadas em solos lodosos ou arenosos.
- 5) As zonas de contato apresentam a cobertura vegetal lenhosa e de maior porte.

A flora das restingas forma, em seu conjunto, associações bem típicas, embora compostas por plantas encontradas nos mais diferentes ecossistemas, além de reduzidas espécies endêmicas (Araújo e Lacerda, 1987). As espécies apresentam adaptações às condições adversas do meio, tais como: inundações periódicas ou ocasionais, especialmente nas

áreas de praia e antepraia; borrifos de água do mar, solos salinos e pobres em nutrientes, alta insolação e déficit hídrico. Estas características estão presentes em praticamente todas as zonas fisiográficas.

Entre as adaptações biológicas que caracterizam esta vegetação, destacam-se: o xeromorfismo (Santos, 1951), o desenvolvimento de sistema radicular profundo (Ormond, 1960), a faculdade de oferecer resistência ao teor de sal do solo (Ule, 1965) e a dispersão de frutos e sementes pela água do mar (Sauer, 1976), além da estruturação das comunidades vegetais, considerando as zonações e interações entre espécies, em função das limitações apresentadas pelo meio (Henriques et al., 1984).

A diversidade de condições físicas, apresentada pela restinga, determina a complexidade inerente a este ambiente, composto de diferentes ecossistemas de características fisiográficas e florísticas próprias. As intensas influências oceânicas e continentais dotam, ainda, a restinga de uma fragilidade intrínseca.

A ocupação humana do litoral brasileiro é datada de até oito mil anos atrás (Kneip e Pallestrini, 1984), segundo registros identificados nos sambaquis. Tomando como preferência as áreas de restinga, o homem se utilizou durante milênios, dos recursos naturais que os ambientes marinho e terrestre oferecem, a partir do desenvolvimento de atividades extrativistas de pesca e captura de animais (Kneip, 1984).

Lamego (1946) destaca a presença dos Índios Tamoio e Goitacá nas restingas do norte fluminense, por ocasião da conquista e ocupação do território brasileiro pelos europeus. Estes, em seguida, ocuparam essas áreas contando com a instalação de portos para escoamento da produção referente aos ciclos econômicos que se sequenciaram na colônia. Com o desenvolvimento das atividades turísticas e imobiliárias estas áreas também se tornaram foco de intensa especulação, aliando a elas a extração de areia, coleta de lenha e carvão e a expansão da fronteira agrícola, nos dias atuais.

2.2 - O SENSORIAMENTO REMOTO E O ESTUDO DA VEGETAÇÃO

Coletando e detectando variações da energia eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos, os sensores remotos geram dados que permitem, a partir da interpretação, a obtenção de informações referentes a natureza física e química dos objetos visados.

Diversos sensores remotos operam atualmente apresentando, entre si, características próprias e distintas que determinam a utilização e aplicação de seus produtos. No estudo da vegetação, a partir do Sensoriamento Remoto, são necessários determinados predicativos que conferem maior fidelidade às informações quanto às características da vegetação.

2.2.1 - CONCEITOS BÁSICOS

O estudo da vegetação, a partir da aplicação das técnicas de Sensoriamento Remoto, baseia-se fundamentalmente no comportamento espectral característico das folhas verdes (Figura 2.1).

No comportamento espectral da vegetação são destacadas três regiões distintas em função dos processos que determinam a intensidade de energia refletida pela folha:

- 1) A primeira região compreende as faixas do ultravioleta e visível, abrangendo os comprimentos de onda de 0,3 a 0,7 um. Nela, os pigmentos presentes nas folhas determinam uma forte absorção de energia eletromagnética. Os pigmentos e os valores aproximados de participação nesta absorção são apresentados por Gates et al. (1965) como: clorofila - 65%, xantofila - 29% e carotenos - 6%. Dominada pela baixa reflectância, esta região é caracterizada pela elevada absorção nas faixas correspondentes ao ultravioleta, azul e vermelho no espectro eletromagnético. Da energia incidente sobre a folha verde, entre 10 e 20% é refletida na porção verde do espectro visível (Gates, 1971). Esta intensidade,

apesar de relativamente baixa, é percebida pelo homem em decorrência de sua concordância de localização no espectro eletromagnético com o pico de sensibilidade da visão humana (em 0,55 μm).

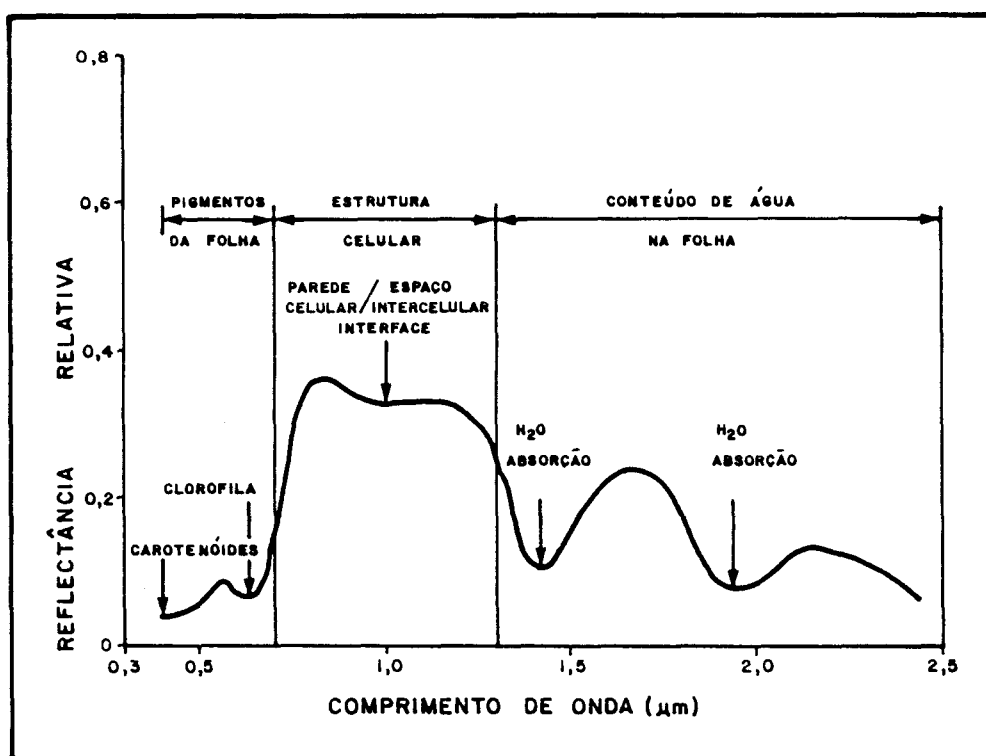


Fig. 2,1 - Curva espectral padrão da vegetação.

FONTE: Modificada a partir de Bowker et al. (1985), p. 6.

- 2) A segunda região, onde praticamente nenhuma radiação é absorvida, abrange o intervalo de 0,7 a 1,3 um, correspondente a faixa do infravermelho próximo (Knipling, 1970). A descontinuidade do mesófilo promove a alta reflectância observada. A energia eletromagnética sofre espalhamento e consequente reflexão, em decorrência dos diferentes índices de refração (IR) dos espaços intercelulares preenchidos por ar (IR = 1,000) e das paredes celulares hidratadas (IR = 1,425) (Gausman, 1974).
- 3) A terceira, engloba a faixa do infravermelho médio, no intervalo espectral de 1,3 a 2,5 um, onde o conteúdo de água presente na folha é o fator determinante da forte absorção de energia eletromagnética observada. Nesta região, encontram-se as bandas de absorção da água, marcadas em 1,4 e 1,9 um (Bowker et al., 1985).

Porém, a cobertura vegetal é um alvo considerado complexo, em decorrência de:

- a) Abranger diversos componentes, dentre eles: as folhas (verdes e não verdes), demais estruturas das plantas (galhos, flores e frutos), as sombras e o solo (Colwell, 1974).
- b) Da reflectância da vegetação ser dependente das características estruturais das plantas, tais como: pilosidade, cutículas, elementos esclerificados, morfologia dos mesófilos, idade das plantas, entre outros (Grant, 1987).
- c) Das condições ambientais também atuarem diretamente sobre o comportamento espectral da vegetação, quer sob a forma das condições hídricas onde se encontra a planta (Knipling, 1970), da salinidade ou da deficiência ou toxicidade de nutrientes (Grant, 1987).
- d) Da reflectância da vegetação ser dependente das interações características entre plantas, da densidade e superposições existentes (Colwell, 1974).

- e) Os aspectos geométricos referentes aos ângulos de elevação e azimute solar ou visada determinarem variações consideráveis no comportamento espectral detectado (Schnetzler, 1981).

Os estudos referentes à vegetação, a partir da aplicação de técnicas de Sensoriamento Remoto, são subdivididos em: pesquisa básica; caracterização fitofisionômica e/ou mapeamento; inventário e/ou avaliação; e monitoramento e/ou manejo (Santos et al., 1981).

A pesquisa básica envolve a análise de parâmetros que influenciam o comportamento espectral do alvo "vegetação"; a avaliação de sensores e técnicas para estudos de diferentes tipos de cobertura vegetal; o desenvolvimento de metodologias de trabalho baseadas em áreas piloto, além de outros estudos que envolvem atividades de pesquisa. Dentre numerosos trabalhos, pode-se citar: Knipling (1970), Gausman et al. (1973), Colwell (1974), Schnetzler (1981), Yool et al. (1986) e Grant (1987).

A caracterização fitofisionômica e/ou mapeamento consistem na observação e descrição de aspectos referentes à fisionomia da vegetação com consequente representação cartográfica das feições. A caracterização abrange estudos referentes às características funcionais - adaptativas e de sobrevivência - e estruturais - com relação à distribuição espacial das plantas (Goldsmith et al., 1986). Danson (1987) destaca que os dados obtidos, a partir do uso de técnicas de Sensoriamento Remoto, possibilitam estimativas rápidas, adquiridas de amplas áreas, com o mínimo de dados de campo. Vários trabalhos foram desenvolvidos sobre este tema, com o uso de produtos de sensores remotos, entre eles: Strahler (1981), Aquino et al. (1982), Buchheim et al. (1984), Hame (1984), Canas e Barnett (1985), Lashack et al. (1985), Dancy et al. (1986), Everith (1986), Vogelmann e Rock (1986), Ahern e Leckie (1987), Hudson (1987), Lacaze e Jofre (1987), Roy (1987) e Westman e Paris (1987). A nível nacional pode-se citar, entre outros: Santos (1976), Pinto et al. (1979), Aoki e Santos (1980), Ponzoni e Hernandez Filho (1988) e Abdon et al. (1988).

O inventário e/ou avaliação baseiam-se no levantamento e identificação de espécies (geralmente de interesse comercial) e na avaliação de volume dos povoamentos (Santos et al., 1981), Hernandez Filho e Shimabukuro (1978), Hame (1984), Morton (1986), Dancy et al. (1986) e Boom (1986) apresentam alguns exemplos de aplicações.

O monitoramento e/ou manejo envolvem os estudos multitempo rais que são associados ao acompanhamento das alterações de origem natu ral ou antrópica da cobertura vegetal, subsidiando atividades de manejo. Entre outros, Tucker (1979), Asrar et al. (1986), Williams et al. (1987) e Oliveira-Galvão et al. (1990b), enfocam o tema.

2.2.2 - ANÁLISE GERAL DOS PRODUTOS DE SENSORES REMOTOS

Diversas formas de apresentação dos dados de sensores remo tos são disponíveis (gráficos, tabelas e imagens) que, sob a análise e interpretação, resultam em informações referentes aos alvos de interesse. Com relação ao alvo "vegetação", os estudos vêm sendo desenvolvidos pre ponderantemente a partir dos dados que se reproduzem em imagens, uma vez que estas promovem a melhor visualização das condições e características dos alvos.

Os sensores aerotransportados há muito vêm sendo utiliza dos para estudos referentes à vegetação. As fotografias aéreas apresen tam as características registradas pelo sensor nas regiões do visível e do infravermelho próximo (Dancy et al., 1986). Os sensores imageadores aerotransportados operam em várias faixas espectrais, desde o visível a tē o infravermelho (Thomas e Ustin, 1987) ou mesmo na faixa de microon das (Stutzman e Crawford, 1985).

Os sistemas orbitais apresentam algumas vantagens sobre os demais sistemas de Sensoriamento Remoto, para o levantamento e estudo da vegetação. Entre elas:

- 1) Aquelas que, associadas entre si, favorecem os estudos referentes a alvos que apresentam aspectos dinâmicos. Tais como:

- a) A regularidade de intervalo de tempo registrado entre tomadas consecutivas de cena de uma mesma área, com intervalos nominais reduzidos a horas - Sistema NOAA - ou dias - Sistemas LANDSAT e SPOT (DeGloria e Benson, 1987).
 - b) O formato uniforme dos produtos, uma vez que reduzidas áreas do mundo apresentam coberturas aerofotográficas repetidas e em escala compatível entre diferentes tomadas (Carter, 1986). Com os sensores orbitais ora em operação, reduzidas áreas não se apresentam recobertas uniforme e repetidamente (com limitações determinadas unicamente pelas condições meteorológicas locais).
- 2) O registro de amplas áreas sob as mesmas condições ambientais e de tomada de cena, que permitem os estudos que implicam visão sinóptica da área.
 - 3) A detecção de dados de radiância da cena em diferentes intervalos espectrais, que possibilita a avaliação do comportamento espectral dos alvos de interesse e a consequente associação às condicionantes ambientais e características intrínsecas à vegetação.
 - 4) A representação de seus produtos originais sob a forma de papel ou transparência fotográfica e, especialmente, em fitas compatíveis com o computador. Gillespie (1980) destaca que as imagens representadas em meio digital permitem a aplicação de técnicas de processamento digital que visem:
 - a) Correções de distorções geométricas e radiométricas.
 - b) Correções de atenuações atmosféricas.
 - c) Realce de feições de interesse.
 - d) Classificação digital de alvos.

Dentre os sistemas e sensores de coleta de dados dos recursos naturais, que operam a nível orbital, destacam-se os Sistemas LANDSAT (com os sensores MSS - "Multispectral Scanner" e TM - "Thematic Mapper") e SPOT (com os sensores HRV - "High Resolution Visible").

Estes sistemas e sensores remotos apresentam características próprias que determinam a potencialidade de suas aplicações. Considerando estas características, em associação com aquelas que se fazem necessárias aos estudos referentes à vegetação, destacam-se os produtos, em meio digital, do Sensor TM.

O imageador multiespectral "Thematic Mapper" - TM integra o Sistema LANDSAT desde 1982, na versão LANDSAT 4; e encontra-se atualmente presente e em operação, desde seu lançamento (01/03/84), no Sistema LANDSAT 5. Suas características gerais são apresentadas nas Tabelas 2.1 e 2.2. Informações complementares referentes ao Sensor TM ou ao Sistema LANDSAT podem ser obtidas nos trabalhos de: Salomonson (1978), Salomonson e Park (1979), Salomonson et al. (1980), Engel e Weinstein (1983), U. S. Geological Survey (1984), Welch e Usery (1984), Irons (1985), Markham e Barker (1985) e Colvocoresses (1986), entre outros.

A partir da análise do posicionamento das bandas espectrais do Sensor TM, pode ser feita uma associação direta com o comportamento espectral padrão do alvo "vegetação". Esta associação pode ser visualizada, com relação ao espectro refletido, na Figura 2.2. Esta figura não contempla o posicionamento da banda TM6, em função de sua localização na porção do infravermelho termal no espectro eletromagnético - região onde a reflectância do alvo de interesse (vegetação) apresenta-se praticamente inexistente.

TABELA 2.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SISTEMA LANDSAT 5

SISTEMA LANDSAT 5		
SENSORES EM OPERAÇÃO		TM E MSS
ALTITUDE NOMINAL		705,3 Km
ÓRBITA	TIPO	CIRCULAR SOLSÍNCRONA
	DURAÇÃO	98,9'
	Nº/DIA	14 REVOLUÇÕES
	COBERTURA DO GLOBO	233 ÓRBITAS
	CRUZAMENTO EQUADOR	9:45 HORA LOCAL \pm 15'
	REPETIÇÃO TOMADA DE CENA (RESOLUÇÃO TEMPORAL)	16 DIAS

- TM; Sensor "Thematic Mapper".
- MSS; Sensor "Multispectral Scanner".

TABELA 2.2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO SENSOR "THEMATIC MAPPER" - TM

SENSOR THEMATIC MAPPER - TM				
RESOLUÇÃO ESPECTRAL		RESOLUÇÃO ESPACIAL (IFOV)	CAMPO DE VISADA (FOV)	RESOLUÇÃO RADIOMÉTRICA
BANDA	INTERVALO ESPECTRAL (UM)			
1	0,45 - 0,52	42,5 URAD 30 m x 30 m	14,9° ou 185 Km no terreno	256 níveis de cinza
2	0,52 - 0,60			
3	0,63 - 0,69			
4	0,76 - 0,90			
5	1,55 - 1,75			
7	2,08 - 2,35	170 URAD 120mx120m		
6	10,4 - 12,5			

- FOV; "Field of View" (Campo de Visada).
- IFOV; "Instantaneous Field of View" (Campo de Visada Instantâneo).

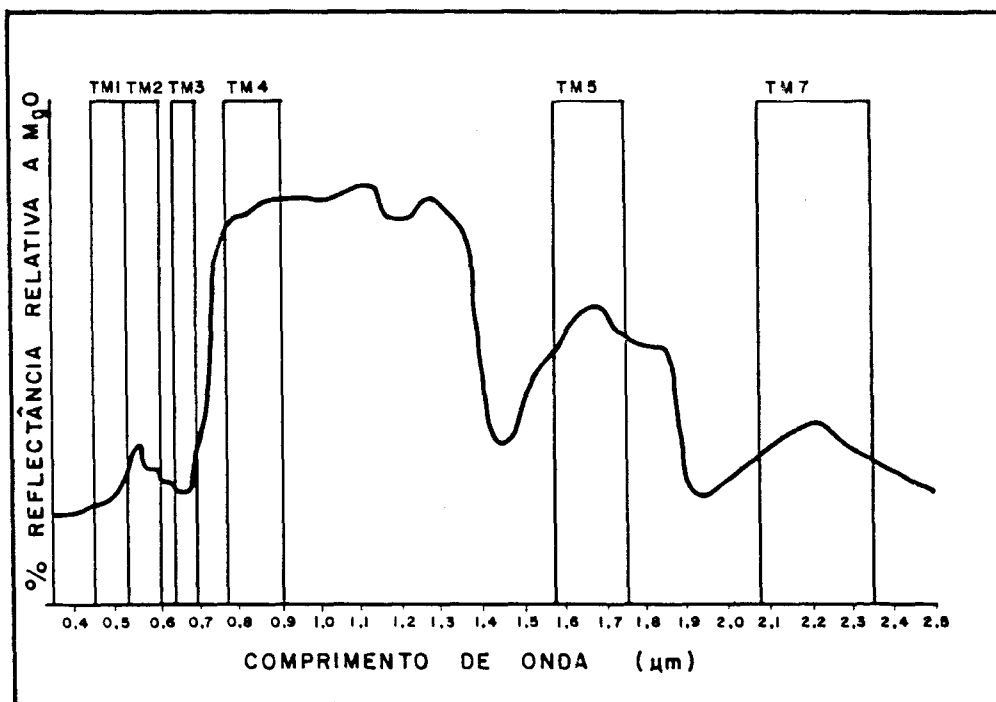


Fig. 2.2 - Localização das bandas espectrais do Sensor TM com relação a curva espectral padrão da vegetação.

FONTE: Modificada a partir de Raines e Canney (1980), p. 367.

A análise do posicionamento das bandas no espectro eletromagnético, em associação com o comportamento espectral da vegetação, propicia as aplicações potenciais do Sensor TM aos estudos referentes a este alvo. A Tabela 2.3 apresenta algumas destas aplicações destacadas por: Salomonson et al, (1980), Slater (1980), U. S. Geological Survey (1984) e Institute d'Amenagement et d'Urbanisme de la Region d'Ile-de-France (1984).

2.3 - MÉTODOS CONVENCIONAIS

A análise dos dados dos produtos de sensores remotos é o fator chave ao atendimento das necessidades informacionais do usuário (Hoffer, 1986). Esta análise se processa a partir dos dados representados nas imagens sob a forma de produtos fotográficos (papel e/ou transparência) e/ou em meio digital.

Uma breve avaliação do potencial, a análise visual, apresentada pelas diferentes formas de representação dos dados coletados e detectados pelos sensores remotos, que ora operam a nível orbital, permite destacar que:

- a) As imagens originais, sob a forma de produtos fotográficos, podem apresentar uma redução e/ou degradação da qualidade e/ou quantidade dos dados registrados, em decorrência da incapacidade dos filmes fotográficos reproduzirem toda a gradação de níveis de cinza determinada pela resolução radiométrica do sensor (Marczyk et al., 1984).
- b) As imagens originais em meio digital apresentam potencial máximo à representação dos dados registrados, uma vez que permitem contemplar com números digitais todo o intervalo de valores determinado pela resolução radiométrica do sensor. Estas imagens também permitem a aplicação de técnicas de processamento digital de dados, que atuam auxiliando na extração de informações referentes à cena.

TABELA 2.3 - APLICAÇÕES POTENCIAIS DO SENSOR TM PARA O ESTUDO DA VEGETAÇÃO

BANDA	CARACTERÍSTICAS ESPECTRAIS	APLICAÇÃO
1	- alta absorção dos pigmentos carotenóides e clorofila.	- estudos de diferenciação de solo e vegetação, identificação de coníferas e de formações decíduais.
2	- absorção mais baixa pelos carotenóides e clorofila; engloba parte da faixa de absorção bem como o pico de reflectância da vegetação na região do visível.	- identificação de sanidade e detecção da reflectância da vegetação viva.
3	- alta absorção promovida pela clorofila, região de absorção da clorofila vermelha.	- identificação de características fenológicas da vegetação, diferenciação de espécies em povoamentos homogêneos e distinção de formações vegetais.
4	- reflectância alta devido aos diferentes índices de refração entre paredes das células e espaços intercelulares; abrange o pico da reflectância da vegetação no espectro eletromagnético.	- identificação de stress hídrico, fitossanidade, diferenciação de vegetação natural de artificial.
5	- reflectância determinada pelo conteúdo de água da planta.	- estudos de determinação do vigor da vegetação, determinação de stress hídrico.
6	- emissão de energia termal.	- identificação de efeitos de desertificação e umidade do solo.
7	- reflectância determinada pelo conteúdo de água da planta.	- diferenciação de vegetação sadia e stressada.

- c) As imagens submetidas a técnicas de processamento digital de dados, podem ser analisadas a partir do monitor de imagens do sistema analisador de imagens multiespectrais e/ou a partir de produtos fotográficos obtidos diretamente do referido monitor.

2.3.1 - ANÁLISE VISUAL DE IMAGENS

A análise visual pode ser realizada a partir de dados originais e/ou processados digitalmente. Esta análise baseia-se na identificação de feições a partir da associação da acuidade visual do fotointérprete, com o entendimento das características dos produtos e com o conhecimento prévio referente ao tema de estudo (Veneziani e Anjos, 1982).

O desenvolvimento da análise visual de imagens de sensores remotos, segundo Soares e Fiori (1976), se processa em três etapas distintas:

- 1) Fotoleitura - Corresponde à fase de reconhecimento ou identificação de feições ou objetos presentes na cena e precede qualquer análise referente aos parâmetros determinantes das feições.
- 2) Fotoanálise - Favorece o estudo das relações entre as características de interesse ao tema de estudo. Inicia-se a interação do analisador da imagem com os padrões e características da cena.
- 3) Fotointerpretação - Permite a extração de informações da cena. Realiza-se a partir da associação das características das feições extraídas ao raciocínio lógico dedutivo e indutivo. Baseia-se fundamentalmente na experiência e conhecimento do fotointérprete.

Para a extração de informações referentes à vegetação, a partir da análise visual de imagens orbitais multiespectrais, deve-se levar em conta que: o comportamento espectral da vegetação reflete as variações sazonais apresentadas pelas espécies, em especial entre os períodos seco e úmido; as diferentes bandas espectrais permitem a detecção

das características de reflectância e absorção da energia eletromagnética apresentada pelo alvo em questão; e que a resolução espacial dos sensores determina as limitações às escalas de trabalho. Desta forma, Santos et al. (1981) destacaram como pré-requisito para o início dos trabalhos referentes à aquisição de informações a partir de imagens orbitais, a seleção; da época de tomada da cena; das bandas espectrais; e da escala de trabalho.

A análise visual de imagens de sensores orbitais baseia-se na extração de elementos de reconhecimento ou fointerpretação. Dentre eles, são destacados por Soares e Fiori (1976) e Anderson et al. (1982); a tonalidade; a forma ou padrão; a densidade; a textura; o tamanho; as sombras e a posição geográfica. Estes elementos podem ser assim definidos;

- 1) Tonalidade (ou cores) - Primeiro elemento considerado em uma análise visual. É associada à variação de tons de cinza, presentes em uma imagem representada em preto e branco, identificada pelo olho humano. Esta gradação limita-se a até duas dezenas de tons. Em imagens coloridas, este elemento é associado às variações de cores, que se apresentam com níveis de intensidade distintos entre si. O olho humano identifica milhares de combinações de cores. A partir da diferenciação de tonalidades ou cores nas imagens, são extraídas várias feições de interesse na cena a partir da análise visual.
- 2) Forma - Baseia-se nos aspectos geométricos das feições analisadas. Este elemento permite principalmente a distinção de aspectos naturais dos aspectos de origem antrópica (considerando a retilinearidade que geralmente caracteriza as ações antropogênicas). Este elemento leva em consideração, também, o referencial utilizado pelas imagens (cujas visadas são feitas sobre a cena), a resolução espacial do sensor e a escala dos produtos, que determinam as formas visíveis.

- 3) Padrão - É determinado pela união ou extensão de formas. Dentre aqueles mais característicos, destacam-se os das cidades (aglomerações humanas) e os de drenagem.
- 4) Densidade - Caracteriza-se pela frequência ou intensidade de formas e/ou padrões identificados nas imagens.
- 5) Textura - É proveniente do arranjo de elementos iguais ou similares que estão em conjunto numa mesma área. É definida pelo aspecto físico, provocado na visão humana, do aglomerado de elementos.
- 6) Tamanho - Elemento diretamente associado à escala do produto e às dimensões reais do alvo no terreno.
- 7) Sombra - Relaciona-se aos ângulos de elevação e azimuth solar e com o ângulo de visada do sensor. Favorece preponderantemente impressões de relevo.
- 8) Posição Geográfica (ou Regional) - Define-se pelo conhecimento, por parte do analisador da imagem, da área e de suas características gerais.

Porém, mesmo de posse destes elementos de fotointerpretação, as imagens orbitais apresentam algumas limitações à extração de informações a partir da análise visual. Dentre elas, Meneses (1986) destaca:

- a) A falta de estereoscopia (no caso das imagens dos Sensores MSS e TM), que impossibilita a visão tridimensional da cena a partir da análise visual da imagem.
- b) A resolução espacial grosseira, que limita a detecção de alvos que apresentem dimensões espaciais compatíveis com o elemento de resolução do sensor e/ou daqueles que têm contraste espectral intenso com relação aos seus vizinhos.

- c) A degradação dos dados pela interferência atmosférica, que atua de forma diferenciada em função do posicionamento no espectro e eletromagnético da banda espectral do sensor,
- d) O baixo contraste espectral apresentado entre alguns alvos sob determinadas condições,

Visando reduzir estas limitações intrínsecas às imagens de sensores remotos que operam a nível orbital, aplicam-se as técnicas de processamento digital de dados (imagens).

2.3.2 - PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Este processamento tem sido a principal razão para a emergência do Sensoriamento Remoto como um meio efetivo de estudo dos recursos naturais. A manipulação numérica dos dados possibilita a extração máxima das informações obtidas pelos sensores remotos. Com a utilização de equipamentos, as imagens são retificadas, realçadas e classificadas, otimizando a obtenção de dados informativos da área de estudo, a partir dos produtos gerados (Ince, 1983).

Considerando os estudos de vegetação, com base em imagens digitais de sensores remotos, Strahler (1981) afirma que a cobertura vegetal natural pode ser efetivamente classificada ou estratificada através de procedimentos de processamento digital. A flutuação dos níveis de sucesso do mapeamento e/ou caracterização da vegetação, segundo Beaubien (1986) e Hoffer (1986), depende basicamente dos objetivos apresentados por cada projeto a ser desenvolvido, tais como:

- , Tipo de cobertura vegetal,
- , Características do terreno,
- , Metodologia de interpretação,
- , Qualidade dos dados,

. Nível de detalhe desejado.

. Prática e conhecimento da área por parte do analista.

O processamento digital de imagens é subdividido por Schowengerdt (1983) em três etapas:

- 1) Pré-Processamento - Corresponde ao tratamento inicial dos dados para efeito de correções de distorções geométricas e radiométricas e da atenuação provocada pelos elementos da atmosfera.
- 2) Realce - Utilizado para eliminar ou destacar determinadas feições espectrais ou espaciais. Atua também sobressaindo diferenças temporais (de dados obtidos em épocas distintas entre si). Seus produtos permitem a análise e interpretação de maneira similar à fotointerpretação (Hoffer, 1986). O realce apresenta efetiva aplicação no mapeamento de feições presentes dentro o alvo "vegetação" (Ahern e Leckie, 1987). Atua aumentando a qualidade visual da informação adquirida.
- 3) Classificação - Desenvolvida a partir de algoritmos que reconhecem classes ou grupos que apresentam certas características espectrais em comum. Estes algoritmos atuam a partir da extração e análise do comportamento espectral dos alvos presentes na cena, considerando as bandas espectrais envolvidas no processo. A performance dos classificadores digitais, segundo Batista et al. (1985), baseia-se fundamentalmente:
 - a) Na qualidade geral dos dados.
 - b) No número de características variáveis presentes na cena.
 - c) No tamanho mínimo apresentado pelas feições.

O desenvolvimento de técnicas de classificação digital de dados, visando o inventário, monitoramento e detecção de alterações dos

recursos naturais, tem sido alvo de considerável interesse no meio científico (Chittineni, 1982).

2.4 - TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Dentre as diversas técnicas de processamento digital de dados de sensores remotos, destacam-se aqui aquelas de interesse direto aos objetivos do presente trabalho.

2.4.1 - TÉCNICAS DE PRÉ-PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS

A aplicação destas técnicas visa a preparação dos dados para processamentos digitais posteriores e/ou à análise visual das imagens, a partir de correção e eliminação de dados espúreos.

2.4.1.1 - ATUAÇÃO DOS EFEITOS ATMOSFÉRICOS

A atmosfera promove degradação na qualidade dos dados dos sensores remotos, que variam em função dos diferentes intervalos espectrais correspondentes às bandas dos sensores em operação.

Efeitos de absorção e espalhamento, promovidos por aerossóis, gases e moléculas de água presentes na atmosfera, ocorrem ao longo da trajetória que a energia eletromagnética percorre entre a fonte, o alvo e o sensor. Estes efeitos determinam que o sinal medido pelo sensor difira da radiância intrínseca do objeto visado.

O fluxo de energia solar que incide sobre o alvo e a energia proveniente deste, que é registrada pelo sensor, sofrem atenuação em sua trajetória, a partir dos efeitos de absorção de energia pelos componentes da atmosfera. Associado à absorção, tem-se o espalhamento atmosférico que atua contribuindo com energia proveniente de outros elementos para o sinal detectado pelo sensor. Desta forma, os efeitos de absorção e do espalhamento podem determinar, a partir da degradação da qualidade da informação, uma confusão na análise das características espectrais dos alvos de interesse na cena (Dias et al., 1981).

Meneses (1986) destaca que a correção dos efeitos de absorção, da energia eletromagnética, promovida pela atmosfera, apresenta-se extremamente complexa; especialmente em função da variabilidade das características da atmosfera (tais como quantidade de vapor e tamanho das moléculas). Porém, os dados espúreos que acompanham a cena, oriundos especialmente dos efeitos de espalhamento atmosférico, podem ser eliminados parcialmente a partir da aplicação de algumas técnicas de atenuação destes efeitos. Uma delas baseia-se na análise de dados de estações meteorológicas, que determinam as contribuições atmosféricas, no momento e local de coleta dos dados da cena pelo sensor, para consequente ajuste dos dados detectados. As demais, baseiam-se na associação dos dados da imagem com o comportamento espectral teórico dos alvos e/ou medido no campo a partir de radiômetros.

Entre estas técnicas, Crippen (1987) destaca os seguintes métodos:

- 1) A subtração do "pixel"¹ escuro é realizada a partir da subtração de um determinado valor numérico de cada "pixel" de uma banda espectral. Este valor é constante por banda e cena avaliada e é determinado a partir da análise de áreas na imagem que, por dedução, deveriam apresentar-se sem iluminação e/ou reflectância e que exibem valores numéricos (números digitais) maiores do que zero (0) associados aos "pixels". Isto ocorre em função dos efeitos atmosféricos.
- 2) A conversão dos valores de radiância em reflectância é realizada a partir da associação dos valores de radiância apresentados pela imagem, com aqueles medidos no campo referentes à reflectância de dois alvos de interesse. A partir de um gráfico, são associados os valores obtidos em um determinado intervalo espectral. A reta que interliga estes pontos determina o valor a ser subtraído dos números digitais apresentados pela imagem, no intervalo espectral considerado.

¹ Elemento da imagem. A cada "pixel" corresponde um elemento do terreno, ao qual se associam um nível de energia e uma posição geográfica.

- 3) A regressão dos valores de radiância é realizada a partir do a juste do gráfico de correlação biespectral dos dados. Parte do princípio de que a equação da reta de melhor ajuste entre duas bandas espectrais altamente correlacionadas deveria passar pela origem, caso não houvesse o efeito aditivo da atmosfera. Este e feito determina o valor em que a reta intercepta o eixo "y"; e es te valor representa a participação da atmosfera nos resultados.

2.4.1.2 - CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Em decorrência de diferenças existentes entre as calibra ções dos detetores, do eventual mal funcionamento do sensor ou de inter ferências atmosféricas, os dados originais das imagens podem apresentar certa degradação radiométrica (nem sempre perceptível em uma análise vi sua de imagens em papel fotográfico ou em meio digital).

O "stripping" é uma das formas de degradação radiométrica potencialmente observável nas imagens dos sensores imageadores. É um ruído do tipo coerente que resulta no surgimento, nas imagens, de faixas originadas de desajustes nas respostas dos detetores (Meneses, 1986). As imagens do Sensor TM não costumam apresentar ruídos do tipo "stripping" tão pronunciados quanto aqueles frequentemente observados nas imagens do Sensor MSS.

Outro tipo de degradação radiométrica consiste na perda de linhas (total ou parcial) ou de "pixels" em bandas espectrais específi cas em decorrência da perda de dados entre as fases de aquisição, regis tro, transmissão ou processamento. Quando este tipo de degradação radio métrica é perceptível visualmente, sua correção pode ser realizada a par tir da interpolação de dados, com a adição ao segmento ruidoso do valor médio dos números digitais dos "pixels" correspondentes às linhas imedia tamente anterior e posterior.

Objetivando a inspeção de toda a imagem em busca da detec ção de demais ruídos não perceptíveis visualmente, é realizada uma análi se digital. Esta análise fundamenta-se na obtenção dos valores resultan

tes da diferença entre o número digital do "pixel" de uma determinada linha com relação aos valores apresentados pelos "pixels" vizinhos (das linhas imediatamente anterior e posterior àquela em questão). Valores pré-determinados são atribuídos aos limiares inferior e superior a serem considerados pelo algoritmo. O ruído é detectado quando o valor do "pixel" se apresentar abaixo daqueles correspondentes aos seus dois vizinhos, com diferença maior do que o limiar inferior; ou quando o "pixel" apresentar valor acima daqueles correspondentes aos dois vizinhos considerados, com diferença maior do que o limiar superior. A correção do ruído é realizada, a partir da substituição do número digital apresentado pelo "pixel" ruidoso, pelo valor médio dos dois "pixels" vizinhos mais próximos (localizados nas linhas imediatamente anterior e posterior).

2.4.1.3 - CORREÇÃO GEOMÉTRICA

O Sensor TM é composto por um espelho imageador que varre o terreno em movimentos oscilatórios em direção perpendicular ao deslocamento da plataforma. Sua varredura é ativa nos dois sentidos (leste/oeste e oeste/leste) de sua oscilação, promovendo um imageamento contínuo com relação ao deslocamento do satélite.

Em decorrência deste tipo de imageamento, associado ao movimento de rotação da terra, é observado um deslocamento relativo de leste para oeste de cada grupo de dezesseis linhas para as bandas espectrais de 1 a 5 e 7 (devido aos dezesseis detetores presentes por banda). Este deslocamento promove uma mudança relativa do posicionamento das feições que é corrigida a partir de um deslocamento dos grupos de linhas para a direita.

Considerando ainda os aspectos geométricos, das imagens do Sensor TM, a aplicação dos dados com objetivos cartográficos apresenta-se limitada a precisões inerentes de aproximadamente ± 25 metros, para imagens sob a forma de fitas magnéticas, segundo Welch e Usery (1984). Para a confecção de mapas, estas imagens são indicadas com precisão para escalas de 1:100,000 ou menores (Colvocoresses, 1986). Enquanto que, à aplicação em escalas maiores são necessários ajustes sobre bases cartográficas.

2.4.2 - TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DE REALCE DE IMAGENS DIGITAIS

Objetivando o aumento da eficiência na identificação visual de feições presentes nas imagens digitais, são aplicados alguns algoritmos que atuam reduzindo os ruídos e o volume de dados e realçando os alvos, favorecendo sua detecção e discriminação. Estes algoritmos são denominados de "técnicas de realce".

2.4.2.1 - TRANSFORMAÇÃO POR COMPONENTES PRINCIPAIS

Este algoritmo é uma técnica de realce linear radiométrico (Santisteban e Muñoz, 1978), onde os eixos relativos a cada banda espectral, envolvida no processo, são rotacionados num espaço de dimensões equivalente ao número de bandas em questão.

Baseia-se nos valores de variância e covariância das bandas originais; estes, definem os autovalores e autovetores que, respectivamente, determinam a variância da distribuição espacial dos dados e a direção dos eixos relativos às imagens formadas - imagens componentes principais (Canas e Barnett, 1985).

A orientação espacial dos novos eixos é feita em função do posicionamento mais favorável à redução da correlação entre as imagens formadas. Os novos eixos apresentam-se ortogonais entre si e concentram a maior parte da variância nas primeiras imagens componentes principais, com considerável redução da variância nas restantes.

A aplicação da técnica de realce de Transformação por Componentes Principais promove a redução da dimensionalidade intrínseca dos dados das imagens multiespectrais, através da redistribuição dos dados das bandas originais entre um mesmo número de imagens não correlacionadas entre si (Singh e Harrison, 1985); sendo que, a somatória da variância das bandas originais é conservada após a transformação, não ocorrendo perda de informações.

Esta técnica de realce é utilizada em inúmeros estudos referentes à vegetação, entre eles; Horler e Ahern (1986) que avaliaram, a partir da análise de imagens componentes principais, o conteúdo de informação presente nas bandas espectrais de 1 a 5 e 7 do Sensor TM, com relação a uma área de cobertura florestal.

Comumente esta técnica de realce é utilizada em associação com a formação de composições coloridas (Seção 2.4.2.5).

2.4.2.2 - TRANSFORMAÇÃO POR DECORRELAÇÃO DE BANDAS ESPECTRAIS

O realce visual das feições de interesse obtido a partir da Transformação por Componentes Principais (Seção 2.4.2.1) não permite a correspondência entre o valor digital apresentado por cada "pixel" da imagem componente principal e a resposta espectral dos alvos presentes na cena; determinando assim, uma grande dificuldade de interpretação das feições realçadas (Rothery, 1987). Além disso, a relação sinal/ruído nestas imagens formadas só se apresenta elevada nas primeiras imagens componentes, com maior destaque àquelas de primeira ordem, dificultando ou inviabilizando a obtenção de informações a partir das demais imagens (Soha e Schwartz, 1978).

A técnica de Decorrelação de Bandas Espectrais baseia-se na Transformação por Componentes Principais e produz imagens não correlacionadas entre si, que permitem a interpretação das feições a partir da associação do comportamento espectral dos alvos com o valor digital apresentado pelo "pixel" correspondente (Gillespie et al., 1986).

Os dados processados a partir da Decorrelação de Bandas são submetidos à rotação espectral a partir dos princípios da Transformação por Componentes Principais. Os dados, então não correlacionados, têm suas variâncias equalizadas e sequencialmente os eixos retornam ao sistema de coordenadas original (Abrams, 1984). Este processamento, é assim realizado;

- 1) A primeira rotação dos eixos atua removendo a correlação apresentada pelas bandas espectrais originais; a partir do reposicionamento, que garante a ortogonalização entre os eixos. Esta rotação é definida pelos autovalores e autovetores obtidos a partir dos dados originais de variância e covariância.
- 2) Sequencialmente, a equalização das variâncias é obtida, a partir da expansão (linear ou não linear) dos dados de cada imagem criada. Soha e Schwartz (1978) destacam que, dentre a transformação não linear, aquela que apresenta-se com maior eficiência é a normalização dos histogramas.
- 3) Finalizando, a segunda rotação promove o retorno dos eixos ao sistema de coordenadas original, permitindo que os dados, agora não correlacionados, sejam interpretados de forma direta.

A técnica de Decorrelação de Bandas Espectrais pode ser aplicada a qualquer número de bandas e/ou imagens espectrais (Gillespie et al., 1987). As imagens decorrelacionadas formadas costumam ser analisadas a partir da formação de composições coloridas (Seção 2.4.2.5).

2.4.2.3 - RAZÃO DE BANDAS ESPECTRAIS

Esta técnica de realce se utiliza da divisão dos números digitais, "pixel" a "pixel", de uma banda espectral, pelos números digitais correspondentes aos "pixels" homólogos de outra banda. Como esta divisão resulta em valores reais, costuma-se discretizá-los a partir da aplicação da fórmula:

$$Vi = \frac{Va}{Vb} \times A + B \quad (2.1)$$

onde,

Vi = valor do "pixel" resultante

Va = valor do "pixel" na banda "a"

y_b = valor do "pixel" na banda " b "

A = Ganho

B = "Offset"

Os valores de ganho e "offset" variam de acordo com a cena e as bandas espectrais consideradas. Respectivamente, objetivam a obtenção da maior variabilidade digital possível para a imagem (sem o alcance da saturação) e o deslocamento do valor da média do histograma da cena realçada para a média do intervalo de valores digitais do sensor.

A radiância da cena, num dado intervalo espectral, é função de termos multiplicativos, tais como: irradiância direta do alvo, reflectância do alvo e transmitância atmosférica; associados ao termo aditivo de radiação espalhada pela atmosfera no espaço entre o sensor, o alvo e a fonte, no momento de tomada dos dados pelo sensor e considerando os parâmetros angulares determinados pelo posicionamento espacial da fonte, do alvo e do sensor (Holben e Justice, 1981).

Os termos multiplicativos apresentam uma interdependência angular de igual efeito em todos os comprimentos de onda considerados. São proporcionalmente constantes entre as bandas espectrais e atribuídos geralmente a variações de iluminação sobre o terreno, o albedo dos alvos e os efeitos dos ângulos de visada (Crippen, 1988).

Os efeitos aditivos são eliminados (parcialmente) a partir da aplicação das técnicas de pré-processamento digital que corrigem a atenuação atmosférica.

A Razão de Bandas Espectrais atua reduzindo os efeitos multiplicativos que determinam a radiância da cena, num dado intervalo espectral. Seus produtos apresentam-se menos dependentes das variações de correntes das condições de iluminação e, conseqüentemente, dos efeitos topográficos, que determinam que áreas de um mesmo alvo não sejam uniformemente iluminadas e, portanto, apresentem radiâncias espectrais distintas.

Esta técnica comumente realça variações espaciais de radiância que não são proporcionalmente constantes entre as bandas espectrais consideradas (Crippen, 1988); fato que determina que os efeitos dos fatores aditivos que compõem a radiância da cena (ruído) sejam eliminados antes da realização do processamento digital de Razão de Bandas Espectrais.

A Razão de Bandas Espectrais reduz os efeitos topográficos nos dados de radiância formados entre as declividades de 0° a 60° e com elevações solares de 11° a 62° (Holben e Justice, 1981). Enquanto que as imagens obtidas nas estações de primavera e verão apresentam-se mais uniformemente iluminadas do que as do outono e inverno, dado o baixo ângulo de elevação solar nestas estações e, conseqüentemente, maiores efeitos de sombras (Almeida Filho e Vitorello, 1982).

Plummer (1988) associa aos valores digitais obtidos a partir da razão de imagens do infravermelho próximo pelo vermelho, valores de biomassa e conteúdo de umidade do solo. Musick e Pelletier (1986) avaliam algumas imagens razão, formadas a partir dos dados TM, com relação ao conteúdo de umidade do solo.

A técnica de Razão de Bandas Espectrais também apresenta a aplicação associada a formação de composições coloridas (Seção 2.4.2.5).

2.4.2.4 - AMPLIAÇÃO LINEAR DE CONTRASTE ("CONTRAST STRETCH")

Os sensores dos sistemas imageadores são geralmente projetados para o registro dos valores de radiância da cena em amplo intervalo de números digitais (no Sensor TM o intervalo se estende de 0 a 255).

Em geral, as cenas concentram suas variações radiométricas em apenas parte deste intervalo disponível; com o histograma de distribuição dos números digitais limitado a uma pequena porção. Estes parâmetros da cena, associados às características do monitor de imagens do sistema analisador de imagens multiespectrais, determinam a qualidade do realce dos alvos de interesse na imagem a ser analisada.

Para obtenção de imagens que apresentem um contraste ótimo é necessário utilizar-se o melhor possível da escala de números digitais disponível pelo sensor, em associação com a qualidade do monitor em que será visualizada a imagem (Dutra et al., 1981).

O realce de contraste de forma linear consiste na expansão do histograma da imagem para a maior amplitude possível, dentro das limitações do sensor e do monitor (Barbosa, 1984). Consequentemente, a partir de cada banda espectral original e/ou imagem realçada é feita a transformação matemática de forma linear; deslocando os números digitais selecionados como mínimo e máximo na imagem, respectivamente aos valores mínimo e máximo definidos pelo monitor. Sendo que os níveis intermediários são redistribuídos linearmente entre os novos limites criados através da transformação.

Esta técnica é considerada simples e amplamente aplicada (Beaubien, 1986). Sua utilização se dá em bandas originais, bem como, de forma complementar às demais técnicas de realce (entre elas: Transformação por Componentes Principais e Razão de Bandas Espectrais), objetivando principalmente o realce de feições em composições coloridas (Seção 2.4.2.5).

2.4.2.5 - COMPOSIÇÕES COLORIDAS

As imagens multiespectrais, utilizadas no Sensoriamento Remoto, geralmente são preparadas para análise visual a partir de uma seleção de três imagens e/ou bandas correspondentes a intervalos espectrais distintos entre si; às quais são atribuídas as cores vermelho (Red - R), verde (Green - G) e azul (Blue - B), componentes de um sistema aditivo de cores (Gillespie et al., 1986).

A seleção do triplete de imagens e/ou bandas espectrais é feita fundamentalmente a partir da utilização de critérios de seleção de atributos espectrais, que baseiam-se em medidas de distâncias de separabilidade entre classes. Estes critérios visam a indicação de subconjuntos de bandas e/ou imagens para a formação de composições coloridas que melhor discriminem diferentes feições (Paradella, 1984).

Dentre os diversos critérios de seleção de atributos espectrais destaca-se aquele que se baseia no cálculo da distância estatística Jeffreys-Matusita (Swain, 1973). Este algoritmo identifica o melhor subconjunto de "K" atributos que é obtido a partir de um conjunto de "N" bandas espectrais e/ou imagens realçadas.

No cálculo de seleção de atributos, a partir do critério de distância JM (Jeffreys-Matusita), o algoritmo identifica a distância estatística apresentada entre as funções de densidade de probabilidade de cada par de classes considerado, associando às maiores distâncias às menores probabilidades de erro de classificação (Dutra et al., 1984).

Matematicamente a distância JM, entre duas classes espectrais ou duas funções de densidade de probabilidade, apresenta-se com variações entre zero (0) e dois (2); aonde a distância igual a "2" corresponde a maior separabilidade e é associada a maior probabilidade de classificação correta (100%) (Figura 2.3).

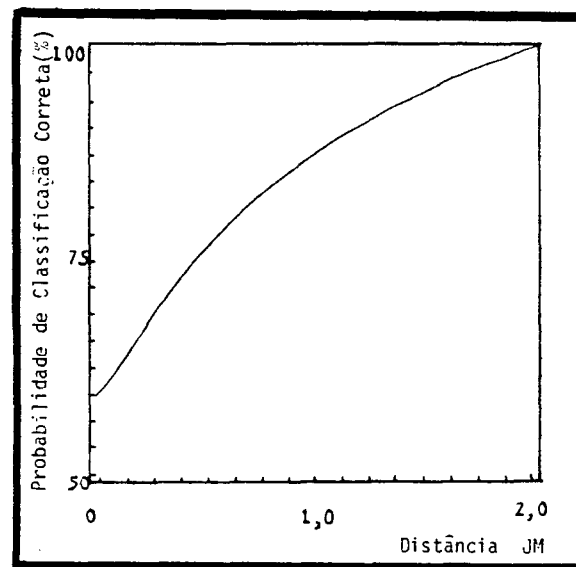


Fig. 2.3 - Gráfico de probabilidade de classificação correta com relação a distância Jeffreys-Matusita (JM).

FONTE: Modificada a partir de Swain e King (1973).

Desta forma, o subconjunto de "K" atributos que apresentar as maiores distâncias estatísticas JM, entre todas as classes consideradas, é apresentado como o selecionado.

Quando são apresentadas apenas duas classes espectrais, a seleção do subconjunto de "K" atributos recai sobre aquele que apresentar a maior distância JM. Porém, para o caso de mais de duas classes, habitualmente, utiliza-se de dois critérios para a escolha do melhor subconjunto: um, que identifica a maior distância JM entre os valores de média das funções de densidade de probabilidade das classes espectrais consideradas; e o outro, que identifica a maior distância JM entre os valores mínimos apresentados pelas funções de densidade de probabilidade das classes (Dutra et al., 1984).

As composições coloridas podem ser formadas por imagens realçadas e/ou por bandas espectrais originais. A ordenação das cores às bandas e/ou imagens é feita considerando que o objetivo das composições coloridas é o realce de feições de interesse a partir da melhor visualização da cena. As composições coloridas permitem, portanto, a análise conjunta dos dados apresentados de forma diferenciada entre as bandas e/ou imagens envolvidas; elas são o meio mais efetivo de apresentação visual de dados multiespectrais (Canas e Barnett, 1985).

Porém, composições coloridas formadas por dados fortemente correlacionados, geram produtos praticamente monocromáticos ou de baixo contraste cromático (Robertson e O'Callaghan, 1988). Isto decorre da insignificante diferença entre os valores digitais apresentados pelos "pixels" de diferentes bandas e/ou imagens correlacionadas entre si (Gillespie et al., 1987).

Entre trabalhos que destacam a formação de composições coloridas com bandas e/ou imagens multiespectrais realçadas, tem-se: com bandas espectrais realçadas a partir da técnica de Ampliação Linear de Contraste (Hernandez Filho et al., 1988); com imagens componentes principais (Canas e Barnett, 1985); com imagens decorrelacionadas (Rothery, 1987) e com imagens razão (Vogelmann e Rock, 1986). Roy (1987) apresen

ta ainda a aplicação da composição colorida visando a análise de dados, seleção e apresentação de amostras, durante a fase de treinamento, para a classificação digital supervisionada,

2.4.2.6 - TRANSFORMAÇÃO IHS/RGB

As imagens multiespectrais usadas no Sensoriamento Remoto são geralmente preparadas para a análise a partir da seleção de tripletes de bandas espectrais em associação às cores vermelho (R), verde (G) e azul (B). Esta codificação é realizada por representar um processo considerado simples em termos computacionais; onde, uma intensidade total de energia, gerada pelos canhões de elétrons dos monitores de TV é associada a cada cor básica (Correia et al., 1990).

Porém, para a percepção visual do homem, na natureza, três parâmetros descrevem completamente as cores do objeto (Gillespie, 1980), são eles:

- 1) A Intensidade (I) - que corresponde a medida total de energia luminosa que reflete de um objeto; relaciona-se ao brilho do objeto visado.
- 2) A Matiz (H) - que refere-se ao comprimento de onda médio da energia que reflete do objeto; está relacionada a sensação de cor visualmente perceptível.
- 3) A Saturação (S) - que corresponde a pureza, ou a quantidade de branco existente em uma cor.

Portanto, uma composição colorida formada pela codificação RGB pode ser realçada, ou ter aumentado seu contraste de cores, a partir da decomposição de cada cor individualmente nas componentes IHS (Haydin et al., 1982); e, desta forma, representar mais fielmente suas características naturais.

Porém, os potenciômetros presentes nos monitores de TV, que compõem os analisadores de imagens multiespectrais (por exemplo, SITIM), alteram simultaneamente os valores de intensidade, comprimento de onda dominante e saturação das imagens, quando ajustam as composições coloridas (Meneses, 1986).

A decomposição nas componentes IHS é realizada através de fórmulas matemáticas que atuam rotacionando os eixos de coordenadas cartesianas que caracterizam a distribuição dos dados no sistema RGB. Esta rotação, os transforma para coordenadas esféricas IHS; permitindo a manipulação individual de cada uma destas componentes. Esta manipulação objetiva a equalização dos parâmetros IHS (Gillespie et al., 1986).

Visando a formação da composição colorida, de melhor qualidade do que a original, para a análise visual e extração de informações, é realizada a transformação inversa dos eixos, retornando-os de IHS para RGB.

Concluindo a aplicação desta técnica de realce, obtém-se o melhor contraste das feições, além da melhor compreensão do fenômeno físico detectado e representado na composição colorida. Uma vez que, o comportamento espectral do alvo na composição colorida reflete suas características reais no campo e a interpretação dos fenômenos envolvidos é auxiliada.

2.4.3 - TÉCNICAS DE CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS DIGITAIS

Os algoritmos de classificação são subdivididos em função da ausência ou presença de uma fase de treinamento, na qual o analista fornece amostras que orientam a classificação digital.

2.4.3.1 - CLASSIFICAÇÃO DIGITAL NÃO SUPERVISIONADA

Este classificador utiliza-se dos dados da imagem para definir por si só as classes espectrais presentes na cena (Townshend e Justice, 1980; Justice e Townshend, 1982). A classificação digital

não supervisionada não dispõe de uma fase de treinamento promovido pelo analista; portanto, dispensa a familiaridade com a região e/ou classes a serem identificadas (Beaubien, 1979). A precisão desta classificação digital depende exclusivamente da capacidade do algoritmo definir áreas homogêneas na imagem a ser classificada (Letts, 1978).

Para imagens de áreas heterogêneas, Pairman e Kittler (1986) ressaltam a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia de classificação digital, objetivando a extração máxima do potencial de informação da cena. Uma vez que, tais imagens apresentam uma grande quantidade de dados diferenciados entre si.

A aplicação de algoritmos de classificação digital não supervisionada é indicada por Beaubien (1979) para cenas de áreas amplas e/ou complexas. Enquanto que Palylyk e Crown (1984) reafirmam a utilização deste tipo de classificador para áreas que apresentem bastante heterogeneidade de feições e/ou onde os dados de campo apresentem-se inconsistentes ou reduzidos.

Em contraposição, Townshend e Justice (1980) e Lacaze e Joffre (1987) afirmam que os algoritmos de classificação não supervisionada não são ideais para aplicações em áreas heterogêneas.

Dentre os algoritmos de classificação digital não supervisionada, destaca-se o "K-Médias" como usualmente empregado. Este algoritmo determina o agrupamento natural dos dados em K-dimensões no espaço, onde "K" corresponde ao número de bandas espectrais e/ou imagens envolvidas. Cada grupo criado é representativo da distribuição de probabilidade das classes existentes (Schowengerdt, 1983).

Para a aplicação do classificador K-Médias o número de classes deve ser especificado pelo analista, a priori da aplicação do algoritmo. O analista baseia sua decisão no conhecimento referente a área e/ou na observação visual das bandas e/ou imagens a serem submetidas à classificação. O algoritmo "arbitrariamente" especifica um vetor média para cada classe, e cada "pixel" é avaliado individualmente com relação

a cada uma das classes consideradas, Objetivando a obtenção de classes que apresentem a maior distância Euclidiana entre os centros de classes, é feita uma análise "pixel" a "pixel", agrupando aqueles "pixels" mais similares digitalmente. Desta forma, cada "pixel" é afetado pelo centro de agregação mais próximo, que forma o centro de gravidade da classe (He e Wang, 1987). Diante dos resultados que vão sendo obtidos pela avaliação do "pixel" com relação às classes especificadas pelo algoritmo, novos valores de média das classes vão sendo calculados, com consequentes reavaliações do posicionamento dos "pixels" nas classes. Este processo é contínuo até o momento em que não haja mais mudança significativa nos vetores de média das classes e/ou posicionamento do "pixel" na classificação (Schowengerdt, 1983).

Este algoritmo envolve, portanto, processos iterativos de todos os dados envolvidos, implicando em alto consumo de tempo computacional e elevado custo operacional (Hoffer, 1986).

Townshend e Justice (1980) identificam diferentes tipos de cobertura do solo por meio de dados do Sensor MSS classificados digitalmente através de algoritmo não supervisionado; baseando-se fundamentalmente na necessidade dos estudos preliminares da área.

2.4.3.2 - CLASSIFICAÇÃO DIGITAL SUPERVISIONADA

A classificação digital supervisionada exige uma maior interação do analista com o computador, na realização da classificação (Marczyk et al., 1984).

A partir de um exame da imagem e/ou utilizando-se de informações que possua da área (Chittineni, 1983), o analista treina ou "ensina" o analisador de imagens multiespectrais a reconhecer os padrões de resposta espectral que determinam as classes desejadas; utilizando-se da identificação de coordenadas que localizam o posicionamento das amostras.

A classificação supervisionada envolve diferentes etapas de processamento de dados (Adeniyi, 1985), sendo elas: a seleção de á

reas de treinamento (supervisionamento); o reconhecimento pelo computador do comportamento espectral das amostras (ou áreas de treinamento) nas diversas bandas envolvidas no processo de classificação; e a classificação da cena, com base nas amostras fornecidas.

O algoritmo identifica todas as áreas, da cena a ser classificada, que apresentem características espectrais similares às aquelas fornecidas pelas áreas de treinamento ou amostras das classes. Portanto, as áreas de treinamento são supostamente representativas de todas as feições de interesse da classificação (Siegal e Abrams, 1976).

Dentre os classificadores que exigem o supervisionamento, tem-se a classificação pelo critério de Máxima Verossimilhança - Maxver, que se utiliza dos padrões de conhecimento (amostras) apresentados na fase de treinamento para identificar os estimadores dos parâmetros das classes envolvidas (Tom e Miller, 1984).

Este classificador (Maxver) baseia-se nos estimadores de média e matriz de covariância das amostras, para definir, a priori, funções de densidade de probabilidade das classes espectrais (Satterwhite et al., 1984). Estas funções apresentam comportamento unimodal, gaussiano e multidimensional para cada uma das classes de interesse (Lee e Richards, 1985). Enquanto que a probabilidade dos "pixels" da cena serem agregados a qualquer uma das classes é definida a posteriori (Ince, 1987), obedecendo um limiar introduzido no sistema pelo analista. Quando um vetor "x" apresentar a probabilidade de pertencer a uma determinada classe menor do que o limiar fornecido, o "pixel" não será considerado como pertencente a classe em questão; mesmo que isso resulte em um "pixel" não classificado em nenhuma das classes existentes (Dutra et al., 1981).

A precisão da classificação através do algoritmo Maxver varia em função da seleção das áreas de treinamento. O algoritmo é considerado como maximizador da proporção de observações corretas (Satterwhite et al., 1984); considerando que a hipótese de distribuição gaussiana dos dados é correta e que a probabilidade de classificação em qualquer uma das classes é a mesma, a priori.

Como limitações ao seu emprego, destaca-se o custo computacional de seu processamento, uma vez que o tempo de classificação é proporcional ao quadrado do número de bandas envolvidas (Lee e Richards, 1985; Belward e Hoyos, 1987) e diretamente proporcional ao número de classes (Ince, 1987).

Beaubien (1986) destaca este algoritmo como o mais frequentemente utilizado nas classificações de cobertura vegetal.

Hudson (1987) ao comparar as classificações de formações florestais a partir de interpretação visual de dados realçados, classificação digital não supervisionada e supervisionada, identificou a classificação supervisionada, em especial a Maxver, como a de maior eficiência.

Ponzoni e Hernandez Filho (1988) utilizaram-se do algoritmo Maxver para a classificação fisionômica da vegetação do Pantanal Matogrossense, a partir de dados de imagens do Sensor TM; obtendo resultados considerados satisfatórios.

2.4.3.3 - CLASSIFICAÇÃO DIGITAL HÍBRIDA

Algumas formas alternativas de classificação digital envolvem a integração de critérios diferenciados, para a definição de classes espectrais. Esta integração define o caráter híbrido destas classificações que, objetivando a maior eficiência da classificação, associam diferentes critérios para a definição de classes.

Dentre as classificações híbridas, destacam-se:

- 1) Aquela que associa algoritmos de classificação não supervisionada e supervisionada. Esta associação, permite a identificação prévia das classes espectrais presentes na cena, a partir do algoritmo que dispensa o supervisionamento. Esta etapa objetiva uma orientação para a seleção de amostras, homogêneas e representativas espectralmente da cena; a serem fornecidas na fase de treinamento para o algoritmo que se baseia no supervisionamento (May Jr., 1986).

- 2) Aquela que associa algoritmos que se utilizam da fase de treinamento. Inicialmente a cena é classificada digitalmente a partir de um algoritmo considerado mais simples em termos computacionais. Complementarmente, as áreas consideradas mais complexas, são submetidas a outro algoritmo mais potente na discriminação de feições. Desta forma, obtém-se qualidade de classificação, a menores custos computacionais e de tempo (Kao e Kim, 1986).
- 3) Aquela que associa diversos critérios para a definição das classes espectrais. Estes critérios estão inseridos em um algoritmo de classificação e visam a melhor identificação das características espectrais da cena; com maior precisão na definição das classes (Toomey e Scarpace, 1987).

No presente trabalho, a classificação digital híbrida baseia-se na associação dos algoritmos que dispensam e necessitam da fase de treinamento. Definido por Townshend e Justice (1980) como um método intermediário entre as aplicações das técnicas isoladamente; este método reduz as desvantagens de ambas as técnicas aplicadas individualmente. A classificação não supervisionada atua auxiliando na identificação de amostras, orientando com relação a homogeneidade e representatividade das classes. Enquanto que, a classificação supervisionada se utiliza de informações relativas a área e amostras fornecidas para a obtenção de maior precisão da classificação.

Strahler (1981) utiliza-se dos centros de agrupamentos gerados pela classificação não supervisionada para a identificação das áreas amostrais a serem fornecidas ao analisador de imagens multiespectrais na fase de treinamento, para a classificação digital supervisionada.

Hame (1984) aplica este método híbrido na classificação digital de dados do Sensor MSS para áreas de cobertura florestal. Abdon et al. (1988) utilizam-se dos algoritmos K-Médias e Maxver, conjuntamente, para a caracterização de áreas de mangue através de dados dos Sensores MSS e TM.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

Este trabalho foi realizado a partir da aplicação de uma metodologia que envolve etapas de gabinete e campo sequenciais, complementares e intercaladas entre si. Estas etapas consistem em aplicações de procedimentos diferenciados sob formas metodológicas distintas (Figura 3.1).

Os trabalhos de gabinete consistiram basicamente em procedimentos digitais e análises dos produtos gerados, determinando a necessidade da coleta dos dados de campo. Esta, por sua vez, foi realizada em duas etapas caracterizadas por períodos de execução, objetivos e metodologias distintas entre si, em função da quantidade e do tipo de informação disponível e necessária nos diferentes momentos de sua execução.

3.1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Foi realizado um levantamento bibliográfico, a aquisição e o estudo dos trabalhos referentes a área de interesse, ao ambiente de restinga (características gerais, processos de formação e caracterização vegetal) e métodos a serem empregados ao longo da execução do presente trabalho.

3.2 - SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área a ser estudada deveria apresentar uma extensão territorial, do domínio da restinga, compatível com a resolução espacial do Sensor TM, sendo indispensável a pouca influência antropogênica, visando o melhor estado de conservação da vegetação; além da representatividade das formações vegetais com relação as demais áreas homólogas.

Considerando estes fatores, a Restinga de Carapebús - Macaé (RJ) foi selecionada para o presente trabalho.

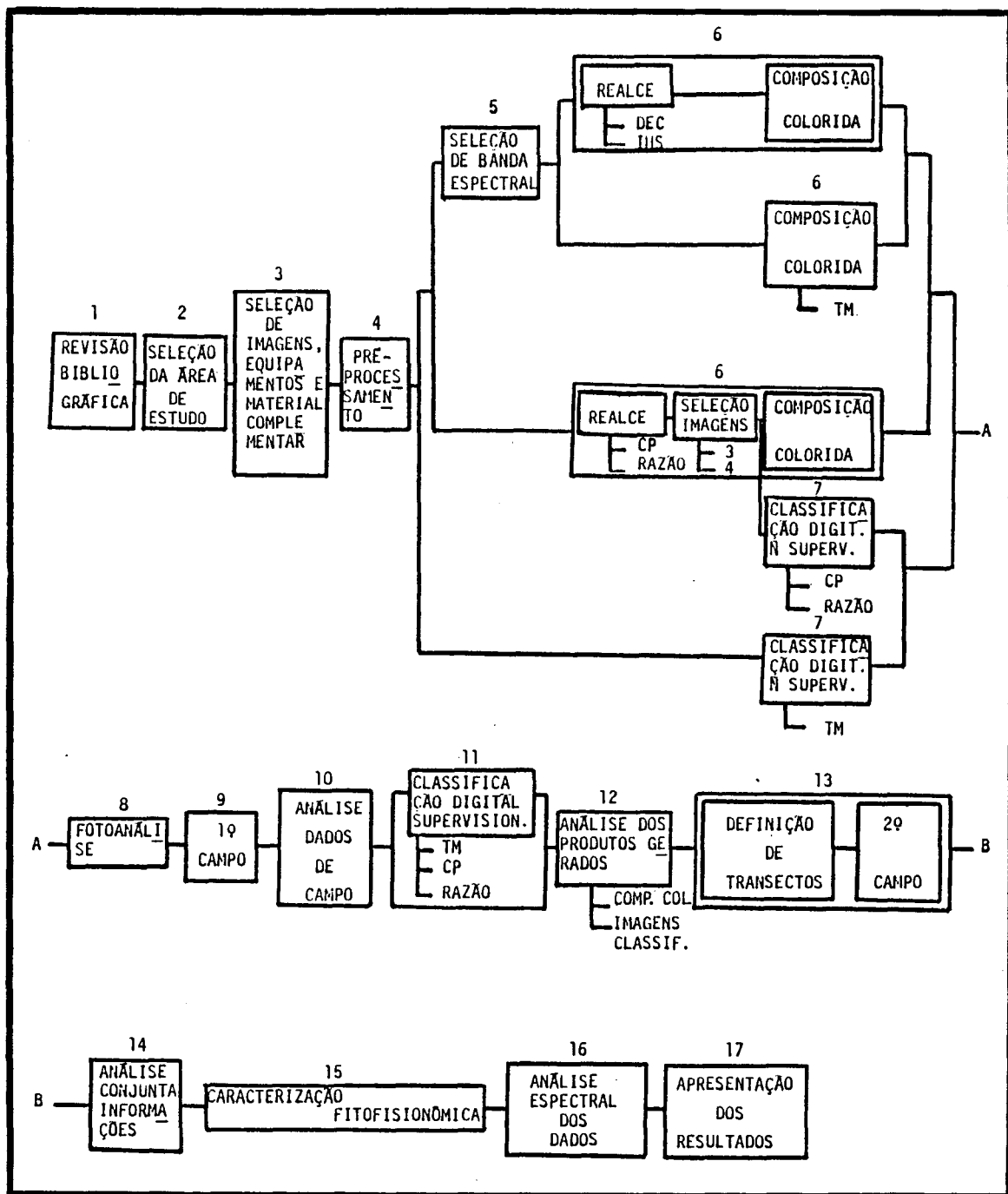


Fig. 3.1 - Fluxograma de atividades.

- DEC; Transf. por Decorrelação de Bandas
- CP; Transf. por Componentes Principais
- IHS; Transf. por IHS

3.2.1 - CONTEXTO REGIONAL

O litoral do Estado do Rio de Janeiro apresenta 735 Km de extensão (Peixoto, 1970). Seu relevo é caracterizado pelas baixadas, formadas em decorrência do soerguimento do continente (Lamego, 1940; 1945), em associação a ação das águas continentais e vagas marinhas que, em períodos geológicos recentes, acumularam sedimentos (Domingues et al., 1976).

Apoiados em elevações do cristalino, evoluíram os cordões arenosos que aprisionaram antigas áreas marinhas e baías; incorporando ao continente antigas ilhas, desviando os cursos dos rios, ampliando as áreas de baixada e formando as restingas (Domingues et al., 1976). Porém, as verdadeiras e grandes planícies de restingas do Estado do Rio de Janeiro só aparecem tarjando o continente ao norte de Macaê (Lamego, 1946), a partir do pontal da foz do rio Macaê, onde os cordões arenosos se justapõem formando extensas e amplas planícies arenosas.

Diversos trabalhos vêm sendo desenvolvidos nas restingas do Rio de Janeiro, enfocando diferentes temas, tais como: geomorfologia (Lamego, 1940; 1945; 1946), microclima (Dau, 1960), ecologia (Ormond, 1960), tipos de vegetação (Ule, 1965), zonação de vegetação (Dansereau, 1947; Magnanini, 1954), entre outros.

3.2.2 - LOCALIZAÇÃO E ABRANGÊNCIA

A área de estudo (Figura 3.2) apresenta aproximadamente uma extensão de 11 Km x 4 Km de largura. Abrange as lagoas de Cabiúnas, Comprida e Carapebús, e dista cerca de 25 Km da cidade de Macaê (RJ).

Considerando a proximidade da cidade do Rio de Janeiro (distância aproximadamente 200 Km), a restinga de Carapebús apresenta um bom estado de conservação. Henriques et al. (1986) destacam devastações localizadas ao norte da lagoa Cabiúnas e ao longo do canal Macaê-Campos, totalizando, ainda que de forma subestimada, uma área alterada de praticamente 1% com relação a total.

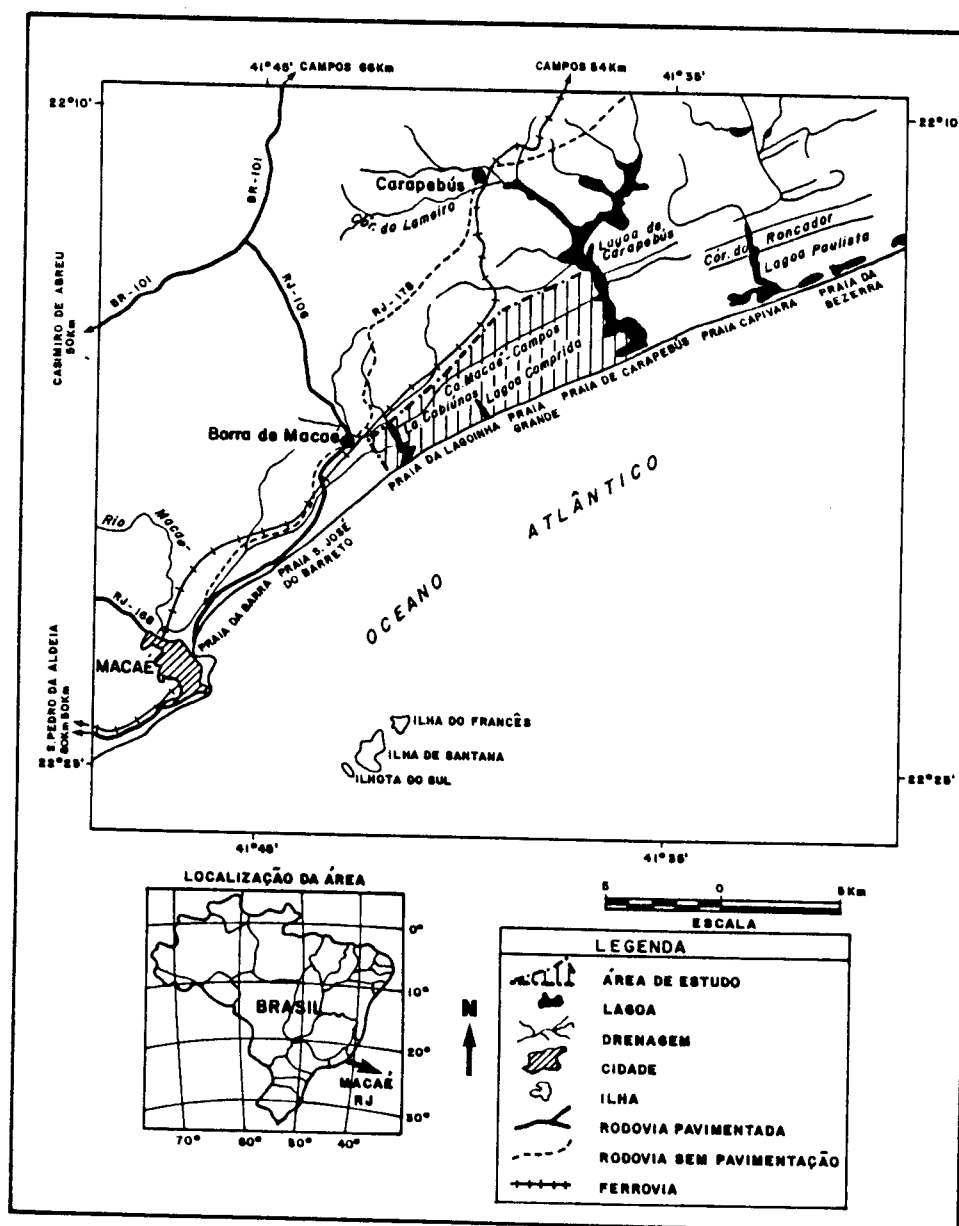


Fig. 3.2 - Localização da área de estudo.

Araújo e Lacerda (1987) destacam a representatividade das formações vegetais da restinga de Carapebús com relação às demais restingas do litoral oriental e meridional brasileiro.

Baseados no elevado potencial à pressão antrópica, no estado de conservação de seus recursos naturais e na representatividade das formações vegetais presentes na restinga de Carapebús, Araújo et al. (1984) indicam a inclusão desta área na categoria de Unidade de Conservação, através de documento encaminhado a Presidência da República.

3.2.3 - ANÁLISE DO AMBIENTE FÍSICO E ASPECTOS CLIMÁTICOS

A restinga de Carapebús compõe uma ampla planície arenosa, que se estende da cidade de Macaê pelo litoral em direção norte do Estado do Rio de Janeiro, constituída por inúmeras restingas resultantes basicamente do trabalho do mar, com drenagem inexpressiva (Domingues et al., 1976).

Formada por rochas sedimentares, acumuladas em períodos geológicos recentes (Quaternário - Holoceno), que se apoiaram em formações de terraço marinho (Gatto et al., 1983), a partir de transporte por correntes marinhas oriundas do nordeste e direcionadas para o sudeste (Lamego, 1946). A restinga de Carapebús apresenta lagoas tipicamente transversais, formadas a partir do endicamento da foz dos rios e separadas do oceano através de cordões de areia de poucos metros de largura.

Os solos são predominantemente regossolos localizados nas áreas de cristas ou cômoros, apresentam baixo conteúdo de matéria orgânica e nutrientes. As áreas de depressões apresentam solos hidromórficos gleizados, e nas áreas mais próximas ao mar os solos são salinos (Comissão de Solos, 1958; Gatto et al., 1983). A matéria orgânica é a principal responsável pela retenção de nutrientes no solo, enquanto que a saída dos nutrientes se processa em especial através da lixiviação do solo e plantas pela chuva (Hay e Lacerda, 1984).

O clima da área, segundo a classificação de Koppen, é quente e úmido. Analisando os dados da estação meteorológica mais próxima, em Macaê (Figura 3.3), observa-se a presença de um período seco por ano, identificado no mês de junho. A precipitação anual é de 1164 mm, com distribuição fortemente sazonal, com mínima mensal ocorrendo na estação de inverno (41 mm) e a máxima no verão (189 mm). A temperatura média a anual é de 22,6 °C, com máxima de 29,7 °C, em janeiro, e mínima de 20 °C, em julho. A nebulosidade é bastante elevada, em especial nos meses de setembro a abril, e a umidade relativa do ar apresenta-se maior do que 80%.

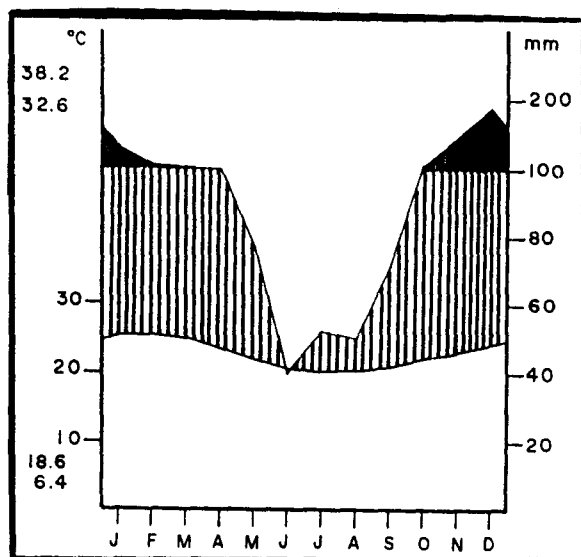


Fig. 3.3 - Diagrama climático da região de Macaê (RJ).

FONTE: Henriques et al. (1986), p. 175.

3.2.4 - ANÁLISE DO AMBIENTE BIOLÓGICO

A fauna que ocupa a restinga de Carapebús, bem como as de mais restingas do Estado do Rio de Janeiro, apresenta-se seriamente ameaçada, em função da ocupação humana. Araújo et al. (1984) destacam dentre os animais presentes na área e ameaçados de extinção: a borboleta-da-praia, a lontra e o jacaré de papo amarelo. Além desses, animais já extintos pela caça predatória, tais como: gato maracajá, tatu, cachorro do mato, tapiti, preguiça de bentinho, queixada, paca, capivara, dentre outros; originalmente ocuparam a área de estudo.

A cobertura vegetal da área foi avaliada por Henriques et al. (1986) que reconheceram sete tipos de formações vegetais terrestres, dos quais: dois tipos florestais, dois de formação aberta de moitas, um de formação fechada de moitas e dois de formações herbáceas. Sendo elas: Mata de Restinga, Mata Paludosa, Clusia, Ericacea, Pôs-Praia, Praiaal Graminóide e Graminóide com arbustos.

As formações vegetais identificadas em Carapebús, apresentam considerável representatividade com relação a outros ambientes de restinga, uma vez que, por vezes, são comparáveis a formações existentes em Cabo Frio-RJ (Ule, 1901; Araújo e Henriques, 1984), Espírito Santo (Ruschi, 1950), Ilha do Cardoso-SP (DeGrande e Lopes, 1981), entre outras.

Alguns outros estudos vêm sendo desenvolvidos na área de abrangência da restinga de Carapebús, tais como: Hay et al. (1982) que avaliam a biomassa aérea de duas espécies comuns na área (Alagoptera arenária e A. nudicaulis); Araújo e Henriques (1984) que apresentam uma listagem da composição florística; Esteves et al. (1984) que desenvolvem estudos limnológicos; Henriques et al. (1986) que avaliam as associações entre os tipos de vegetação e os níveis de nutrientes e regime hídrico do solo; e Oliveira-Galvão et al. (1990b) que realizam o monitoramento da cobertura vegetal da área.

Com relação a ocupação humana desenfreada, que se observa ao longo do litoral norte fluminense, atribui-se a maior responsabilidade à construção da ponte Rio - Niterói, em 1974 (Araújo et al., 1984). Esta ponte é considerada a principal via de acesso na área, seguida pelas rodovias estaduais,

Atualmente, Oliveira-Galvão et al. (1990b) destacam que o desmatamento, as queimadas, o corte de madeira para lenha e carvão, a pastagem e a ampliação da fronteira agrícola são as principais atividades desenvolvidas na área. Ainda que, Araújo et al. (1984) destaquem que, a restinga de Carapebús não apresenta vocação agrícola e sim a de Unidade de Conservação, visando a proteção da fauna, flora e recreação.

3,3 - SELEÇÃO DE IMAGENS, MATERIAL COMPLEMENTAR E EQUIPAMENTOS

Para a realização dos trabalhos foi necessária a seleção e obtenção dos materiais que viabilizassem o desenvolvimento metodológico proposto; considerando a área de estudo, a potencialidade das imagens e dos equipamentos utilizados,

3,3,1 - ESCOLHA DA CENA

Baseado na relação entre posicionamento geográfico da área de estudo (restinga de Carapebús) e o mapa de localização de órbita/ponto do Sensor TM, Sistema LANDSAT 5; foram obtidos os valores de órbita/ponto correspondentes a área.

A partir da análise dos "Quick Look"¹ das imagens mais recentes do Sensor TM (com relação a época da avaliação), foi selecionada a data de tomada da cena de interesse. Levando-se em consideração que a imagem selecionada tivesse as melhores condições de visibilidade, menor cobertura de nuvens e qualidade de gravação dos dados.

A cena selecionada foi: imagem TM, Órbita/Ponto 216/75, Quadrante "S", passagem de 05/07/1988,

¹ Imagem de baixa resolução e baixo custo, que permite avaliar, de forma preliminar, a qualidade da cena (Novo, 1989).

3.3.2 - IDENTIFICAÇÃO DAS BANDAS ESPECTRAIS

As bandas do espectro refletido (1 a 5 e 7) do Sensor TM foram selecionadas para o desenvolvimento dos trabalhos. Esta seleção baseou-se na necessidade de obter o maior número possível de informações, utilizando-se ao máximo das bandas espectrais disponíveis.

A banda TM6 foi excluída da seleção em função de suas resoluções espacial e espectral serem indesejáveis ao trabalho. Uma vez que sua resolução espacial (120 metros), caracteristicamente menor do que a daquela correspondente as demais bandas espectrais (30 metros), limita sua aplicação na detecção de feições. Bem como, sua localização, na região do espectro eletromagnético, onde a energia registrada pelo sensor é predominantemente aquela emitida pelos alvos, determina certa incompatibilidade na combinação e análise comparativa com as demais bandas espectrais do Sensor TM.

3.3.3 - SELEÇÃO DO MÓDULO DE ESTUDO

O módulo de estudo demarcado na cena é apresentado na Figura 3.4.

3.3.4 - AQUISIÇÃO DE MATERIAL COMPLEMENTAR

Objetivando a complementação das informações obtidas a partir das imagens digitais, foram adquiridas as cartas topográficas:

- Folha Macaé, SF-24-Y-A, IBGE, 1:250.000
- Folhas Carapebús e Cabiúnas, SF-24-Y-A-I-2 e SF-24-Y-A-I-4, IBGE, 1:50.000.

Para a execução dos trabalhos de campo, foram utilizados: bússola, trena (50 metros), varas metálicas (3 x 2 metros), fio de nylon (50 metros); objetivando a localização precisa no campo, as medições dos parâmetros avaliados e o posicionamento das linhas bases e transecções.

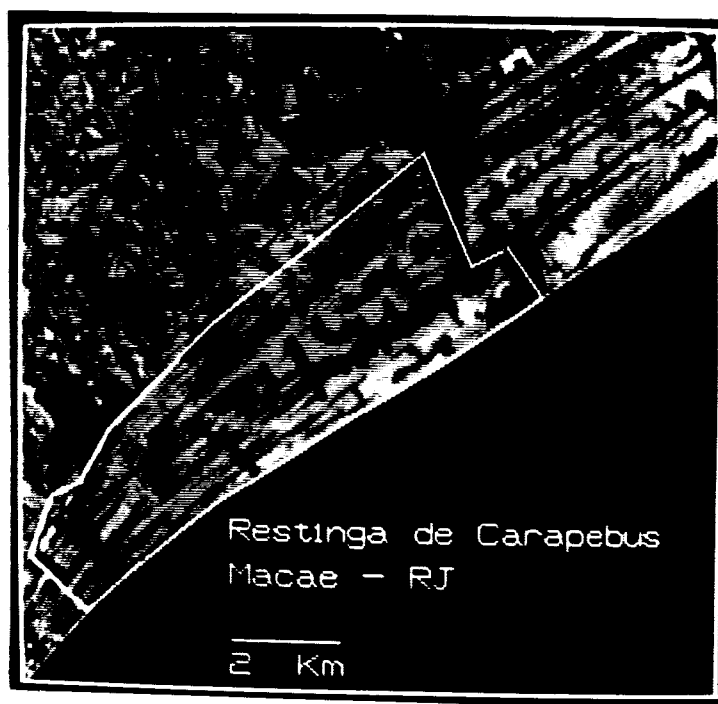


Fig. 3.4 - Módulo de estudo.
- Banda TM5.

3.3.5 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para o processamento digital dos dados TM, foi utilizado o analisador de imagens multiespectrais SITIM-150, versão 2.2, desenvolvido pelo Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE.

Para o registro fotográfico das composições coloridas geradas e classificações digitais realizadas, utilizou-se de uma câmera fotográfica do tipo OLYMPUS OM-40 Program.

Para a análise visual das composições coloridas e classificações digitais realizadas, foi utilizado o Ampliador Óptico PROCOM-2 (da Gregory Geoscience Limited, Canadá).

3.4 - PRÉ-PROCESSAMENTO

As imagens da área de estudo foram submetidas aos processos de correção dos efeitos de atenuação atmosférica e das degradações radiométricas.

3.4.1 - CORREÇÃO DOS EFEITOS DE ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA

A técnica de Subtração do "Pixel" Escuro mostrou-se como a mais conveniente ao presente trabalho; considerando a dificuldade de obtenção de dados de campo referentes a reflectância da cena e a complexidade dos cálculos de regressão dos valores de radiância das imagens.

Desta forma, foram destacados "pixels" amostrais correspondentes a áreas de sombra de relevo e água na imagem. Os números digitais apresentados por estes "pixels" foram identificados nas bandas espectrais de estudo (bandas 1 a 5 e 7 do Sensor TM).

A área de sombra de relevo foi obtida nas encostas localizadas ao norte da área de estudo; enquanto que o mar, presente na porção sul da imagem, forneceu as amostras referentes a água na cena.

Foi realizada uma análise dos números digitais apresentados pelos "pixels" correspondentes as áreas de sombra de relevo e água, para identificação dos valores que deveriam ser adotados na aplicação do método de Subtração do "Pixel" Escuro (Chavez Jr., 1975).

Posteriormente, foi efetuada a correção para os efeitos de atenuação atmosférica; banda a banda espectral.

3.4.2 - CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Realizada banda a banda espectral, esta correção efetivou-se a partir da inspeção automática dos números digitais de cada linha da imagem, em comparação com as linhas imediatamente anterior e posterior, obedecendo como limites os valores inteiros de 8 e 25 (respectivamente, inferior e superior).

Esta correção foi realizada automaticamente a partir da aplicação do Programa de Correção Radiométrica instalado no SITIM-150 (EN GESPAÇO, s.d.).

De forma complementar, foi feita uma inspeção visual banda a banda espectral para identificação e correção de possíveis ruídos perceptíveis visualmente.

3.4.3 - ANÁLISE COMPLEMENTAR

Foram obtidos dados estatísticos (variância, covariância e coeficientes de correlação) do conjunto de bandas TM (bandas 1 a 5 e 7), antes e depois de serem corrigidas para efeitos de atenuação atmosférica e de radiometria.

Estes dados foram coletados a partir de áreas amostrais posicionadas na área de interesse, e objetivaram a observação das alterações ocorridas nos parâmetros da imagem, a partir da aplicação das técnicas de pré-processamento.

3.5 - SELEÇÃO DE BANDAS ESPECTRAIS

Foi realizada uma análise visual preliminar de cada banda espectral utilizada neste trabalho. Esta análise objetivou, em associação com informações bibliográficas referentes a área de estudo, a identificação de amostras representativas das formações vegetais presentes.

Estas amostras corresponderam as Formações de: Mata de Restinga, Mata Paludosa e Ericacea (Henriques et al., 1986). Com relação a Formação de Clusia, apresentada pela bibliografia, as amostras foram subdivididas entre áreas de Clusia "Clara" e Clusia "Escura", considerando a diferenciação espectral identificada.

As áreas amostrais, então selecionadas, foram apresentadas para a aplicação das técnicas de seleção de bandas espectrais utilizadas neste trabalho.

A técnica de Seleção de Atributos foi aplicada para a identificação do triplete de imagens TM, a partir das bandas espectrais 1 a 5 e 7. Enquanto que, a técnica de seleção de bandas espectrais que, segundo Yool et al. (1986), baseia-se na análise do desempenho de classificação apresentado pela matriz de classificação Maxver de amostras; foi aplicada as vinte possíveis combinações de subconjuntos de três imagens (a partir das bandas TM localizadas no espectro refletido).

Ambas as técnicas aplicadas apresentaram, como resultado, ordenações decrescentes dos melhores tripletes de bandas espectrais do Sensor TM, com vistas à formação da composição colorida que melhor favorecesse a detecção e discriminação das formações vegetais de interesse.

A ordenação dos três melhores tripletes de bandas espectrais fornecida a partir da aplicação da técnica de Seleção de Atributos foi analisada e comparada com aquela apresentada pela análise da matriz de classificação Maxver das amostras (que ordenou as vinte possíveis combinações de tripletes de bandas). A comparação e análise destes resultados determinou a seleção do subconjunto de bandas espectrais que foi considerado como mais adequado aos objetivos do trabalho. Esta seleção foi determinada pela permanência do triplete em melhor posicionamento em ambas as ordenações analisadas.

3.6 - TÉCNICAS DE REALCE

Visando a melhor detecção e discriminação dos alvos de interesse, foram aplicadas algumas técnicas de realce às bandas (1 a 5 e 7) do Sensor TM.

3.6.1 - TRANSFORMAÇÃO POR COMPONENTES PRINCIPAIS

Objetivando a redução da dimensionalidade intrínseca dos dados e da redundância das informações presentes nas seis bandas, do espectro refletido, do Sensor TM; foi aplicada a Transformação por Componentes Principais.

Considerando que a correlação de bandas espectrais do Sensor TM apresenta-se diferente para cada tipo de vegetação (Weaver, 1987); a aplicação da Transformação por Componentes Principais baseou-se na aquisição de amostras unicamente da área de interesse. As amostras utilizadas foram coincidentes com aquelas apresentadas na Seção 3.4.3.

Em função do conteúdo de informação presente nas imagens formadas, foi feita a seleção de um triplete de imagens componentes principais.

3.6.2 - TRANSFORMAÇÃO POR DECORRELAÇÃO DE BANDAS ESPECTRAIS

As bandas espectrais selecionadas anteriormente (Seção 3.5) foram submetidas a técnica de Decorrelação ou Normalização Multiespectral do Histograma (Soha e Schwartz, 1978), com o objetivo de gerar imagens não correlacionadas que apresentem características espectrais de terminadas pelas feições de absorção e reflectância dos alvos nas bandas espectrais originais envolvidas. A aplicação desta técnica baseou-se nas áreas amostrais, representativas dos padrões espectrais presentes na área de interesse, apresentadas na Seção 3.4.3.

3.6.3 - GERAÇÃO E SELEÇÃO DE IMAGENS RAZÃO

Objetivando o realce de diferenças sutis entre alvos (Gillespie, 1980), foi aplicada a técnica de Razão de Bandas Espectrais. A partir das seis bandas espectrais do Sensor TM, no espectro refletido, são formadas trinta possíveis imagens razão. Porém, tendo em vista a dimensionalidade dos dados produzidos, fez-se necessária a seleção de um subconjunto de imagens razão que otimizasse a detecção e discriminação dos alvos de interesse.

Oliveira-Galyão et al. (1990a) apresentam um subconjunto de imagens razão selecionado como aquele mais adequado aos estudos da vegetação da restinga de Carapebús - Macaé (RJ). Para esta seleção foram consideradas as trinta possíveis imagens razão a partir das bandas TM 1-2-3-4-5-7. Esta seleção baseou-se na metodologia desenvolvida por Yool

et al, (1986). Foi realizada a partir da associação da análise visual de cada imagem razão formada aos dados relativos ao desempenho de classificação das amostras, apresentado pela matriz de classificação Maxyer (Máxima Verossimilhança). As imagens selecionadas para comporem o subconjunto foram: TM2/TM4, TM3/TM4, TM3/TM5 e TM7/TM2.

Com base no subconjunto de imagens razão adotado, foi feita uma análise visual par a par das imagens selecionadas. Esta análise, buscou uma avaliação do conteúdo de informação presente em cada imagem, comparativamente às demais.

Sequencialmente, foram geradas composições coloridas tentativas, a partir dos quatro diferentes tripletes de imagens razão formados, obtidos do subconjunto adotado. A análise visual comparativa entre as composições coloridas formadas, em associação a considerações teóricas referentes ao comportamento espectral da vegetação e à análise visual anteriormente citada, resultou na identificação do triplete de imagens razão mais adequado aos estudos ora propostos.

3.6.4 - TRANSFORMAÇÃO POR IHS

Objetivando o maior contraste entre feições, foi aplicada a técnica de decomposição nas componentes I - Intensidade, H - Matiz e S - Saturação (Haydin et al., 1982), no triplete selecionado de bandas TM (Seção 3.5).

3.6.5 - FORMAÇÃO DE COMPOSIÇÕES COLORIDAS

Foram geradas composições coloridas a partir dos tripletes de bandas espectrais e imagens realçadas formadas; considerando que, a análise visual e extração de informações é otimizada a partir da conjunção dos dados presentes nas diferentes imagens (Robertson e O'Callaghan, 1988).

3.6.5.1 - BANDAS ESPECTRAIS TM

As três bandas TM selecionadas foram realçadas a partir da aplicação da técnica de Ampliação Linear de Contraste. As três bandas foram associadas as seis combinações de cores possíveis a partir das cores primárias vermelho (R - Red), verde (G - Green) e azul (B - Blue), objetivando a associação banda/cor que melhor realçasse as feições de interesse (Ahern e Sirois, 1989).

3.6.5.2 - IMAGENS COMPONENTES PRINCIPAIS

As três imagens componentes principais selecionadas foram realçadas a partir da aplicação da técnica de Ampliação Linear de Contraste, objetivando a formação de composições coloridas.

Canas e Barnett (1985) indicam a Transformação por Componentes Principais para a formação de composições coloridas falsa cor, no caso de se dispor de mais de três bandas espectrais envolvidas no trabalho, objetivando a otimização da obtenção da informação disponível.

Utilizando-se das seis possíveis combinações entre as três cores básicas com relação as três imagens componentes principais, foi definida a melhor relação imagem/cor para a detecção e discriminação dos alvos de interesse.

3.6.5.3 - IMAGENS DECORRELACIONADAS

As três bandas TM selecionadas, realçadas a partir da técnica de Decorrelação de Bandas Espectrais, foram associadas às cores vermelho (R), verde (G) e azul (B) em busca da melhor associação imagem/cor, objetivando a formação da composição colorida que mais favorecesse a detecção e discriminação dos alvos de interesse.

A composição colorida formada, dado as características intrínsecas das imagens decorrelacionadas, permite a associação direta em

tre os resultados da análise visual e o comportamento espectral dos alvos, nas diferentes regiões do espectro avaliadas (Gillespie et al., 1986).

3.6.5.4 - IMAGENS RAZÃO

As três imagens razão selecionadas foram submetidas individualmente à técnica de Ampliação Linear de Contraste. Em seguida, ao triplete de imagens, foram associadas às cores vermelho (R), verde (G) e azul (B), dentre as seis combinações possíveis, para a formação da composição colorida mais adequada à detecção e discriminação dos alvos de interesse (Beaubien, 1986).

3.6.5.5 - TRANSFORMAÇÃO IHS/RGB

O triplete selecionado de bandas TM (Seção 3.5), realçado a partir da decomposição IHS, teve a função IHS convertida em RGB, gerando composição colorida mais contrastada do que aquela formada unicamente pela associação das bandas às cores primárias RGB (Gillespie et al., 1986).

3.7 - CLASSIFICAÇÃO DIGITAL NÃO SUPERVISIONADA

Considerando que a área apresentava significativa heterogeneidade de feições e que as informações referentes às características apresentadas no campo só eram conhecidas a partir de revisão bibliográfica, optou-se pela aplicação de um algoritmo de classificação que dispensasse a etapa de supervisionamento (Beaubien, 1979; Palylyk e Crown, 1984).

O algoritmo K-Médias foi aplicado às bandas originais do Sensor TM (1 a 5 e 7) e às três imagens componentes principais selecionadas. O quarteto adotado de imagens razão, a exemplo da aplicação de Justice e Townshend (1982), foi também submetido a esta classificação.

Estas classificações objetivaram a identificação das classes espectrais presentes na cena, com o principal propósito de subsidiar o primeiro trabalho de campo. Além de que, baseado em Hame (1984) e Abdon et al. (1988), a classificação digital não supervisionada iniciaria o processo de classificação híbrida (adicionando uma etapa de classificação digital supervisionada), ora proposto.

Os três subconjuntos de bandas e imagens submetidos a classificação K-Médias foram processados tomando como base um total de dez classes.

3.8 - FOTOANÁLISE

A partir dos processamentos digitais realizados, as composições coloridas formadas (bandas TM, imagens componentes principais, imagens decorrelacionadas, imagens razão e imagens transformadas IHS/RGB) e classificações digitais não supervisionadas (bandas TM, imagens componentes principais e imagens razão) foram fotografadas através do monitor de imagens do sistema analisador de imagens multiespectrais - SITIM 150.

Estas fotos, em "slide", foram analisadas visualmente com o auxílio do Ampliador Óptico PROCOM-2. Enquanto que os resultados obtidos foram representados em papel transparente ("overlay") sobre base cartográfica.

Baseado nos critérios de identificação de diferentes padrões tonais, formas e texturas, foram destacadas as diferentes feições presentes nas composições coloridas.

Delimitando as diferentes classes apresentadas nos produtos de classificação digital não supervisionada, foram identificadas as classes espectrais presentes.

As feições e classes identificadas foram associadas às in formações cartográficas apresentadas por Henriques et al, (1986), auxiliando na seleção das áreas amostrais a serem observadas no campo, em se guida.

3.9 - PRIMEIRO TRABALHO DE CAMPO

Esta etapa objetivou o reconhecimento da área e a caracte rização do ambiente físico e da fitofisionomia da Restinga de Carapebús.

Realizado no período de 16/07 a 29/07/1989 (época de seca na região), este trabalho baseou-se nas feições tonais e classes espec trais identificadas anteriormente (Seção 3.8).

3.9.1 - RECONHECIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DO AMBIENTE

Objetivando o reconhecimento da localização e trafegabili dade das vias de acesso na área, foram feitas diversas incursões entre as estradas e trilhas encontradas.

Considerando as áreas correspondentes as feições tonais e/ou classes espectrais definidas, na fotoanálise realizada das composi ções coloridas formadas e classificações digitais não supervisionadas ge radas, foi feita uma análise do meio físico e das atividades antrópicas presentes; a partir da aplicação de um questionário (Apêndice A), em ca da área amostrada.

O posicionamento das amostras baseou-se no delineamento de outros alvos, buscando uma melhor precisão e localização na imagem (Santos, 1988). Foram contempladas, com a amostragem no campo, todas as feições identificadas e/ou classes espectrais destacadas pela fotoanáli se das composições coloridas e classificações digitais não supervisiona das realizadas.

3.9.2 - CARACTERIZAÇÃO FITOFISIONÔMICA

As áreas amostrais selecionadas (Seção 3.9.1) foram avaliadas em função das características fitofisionômicas apresentadas. Sendo que, cada tipo de formação vegetal foi avaliada de forma diferenciada.

As formações predominantemente arbóreas foram analisadas a partir da aplicação do Método do Quadrante (Cottam e Curtis, 1956). Para as formações arbustivas, foi utilizado o Método de Intercepção de Linha (Mueller-Dombois e Ellenberg, 1974).

As formações tipicamente herbáceas na área de estudo limitam-se, em sua maioria, a áreas que se estendem ao longo da linha da costa e com estreita extensão transversal; esta característica impede sua detecção pelo Sensor TM (limitação da resolução espacial). Porém, aonde este tipo de formação foi detectado pelo Sensor, sua avaliação foi feita a partir da aplicação do Método dos Quadrados (Ashby, 1969). Este mesmo método foi utilizado para análise da cobertura herbácea presente nas formações arbustivas.

3.9.2.1 - MÉTODO DOS QUADRANTES

Considerado o melhor entre os métodos de amostragem de pontos, que são comparativamente mais eficientes do que o Método dos Quadrados (Curtis e Cottam, 1969). Permite a aquisição de informações referentes a frequência, densidade e cobertura. Baseia-se nos dados coletados referentes a área basal, espécies observadas e distâncias entre indivíduos e pontos de controle; possibilitando também a amostragem com relação a altura dos indivíduos arbóreos.

Uma série de pontos, geralmente distanciados entre si em intervalos pré-fixados, é colocada no campo para a aplicação do Método dos Quadrantes. Um número mínimo de vinte pontos de controle é utilizado para amostragem de cada formação (Mueller-Dombois e Ellenberg, 1974). O espaço em redor de cada ponto é subdividido em quatro quadrantes, nos quais são feitas as observações de interesse.

Após a seleção da área a ser amostrada, foram estendidas linhas base de 35 metros de comprimento. A direção do alinhamento de cada linha foi determinada através da mira de uma bússola, que se baseou no valor numérico obtido por sorteio, a partir de uma tabela de números aleatórios. Os pontos amostrais foram pré-determinados em distâncias fixas de cinco em cinco metros, marcadas na linha estendida, resultando em sete pontos amostrados em cada linha e determinando um mínimo de três transecções por formação vegetal.

Cada ponto amostral foi definido como o centro de uma cruz imaginária, com um eixo concordante com a direção da linha base e outro perpendicular a esta linha, determinando assim os quadrantes noroeste (1), nordeste (2), sudoeste (3) e sudeste (4), com relação ao sentido do caminhamento.

Em cada quadrante do ponto amostral considerado, foi identificado o indivíduo arbóreo mais próximo e realizadas as medições de interesse (Figura 3.5) a saber: distância ponto-indivíduo, diâmetro a altura do peito (DAP), altura total e largura da copa nas direções paralela e perpendicular à linha base.

3.9.2.2 - MÉTODO DE INTERCEPÇÃO DE LINHA

Usualmente mais utilizado em formações herbáceas ou arbustivas baixas, onde as plantas não comportam-se como indivíduos discretos e sim indivíduos contínuos formadores de sistemas de plantas (Curtis e Cottam, 1969).

A amostragem de forma sistemática, a partir de arranjo linear em forma contínua, determina que este método seja apropriado nos estudos em áreas que apresentam mudanças de gradientes fisionômicos em zonas intertidais, áreas sujeitas a inundações marinhas ou sucessão de dunas (Goldsmith et al., 1986).

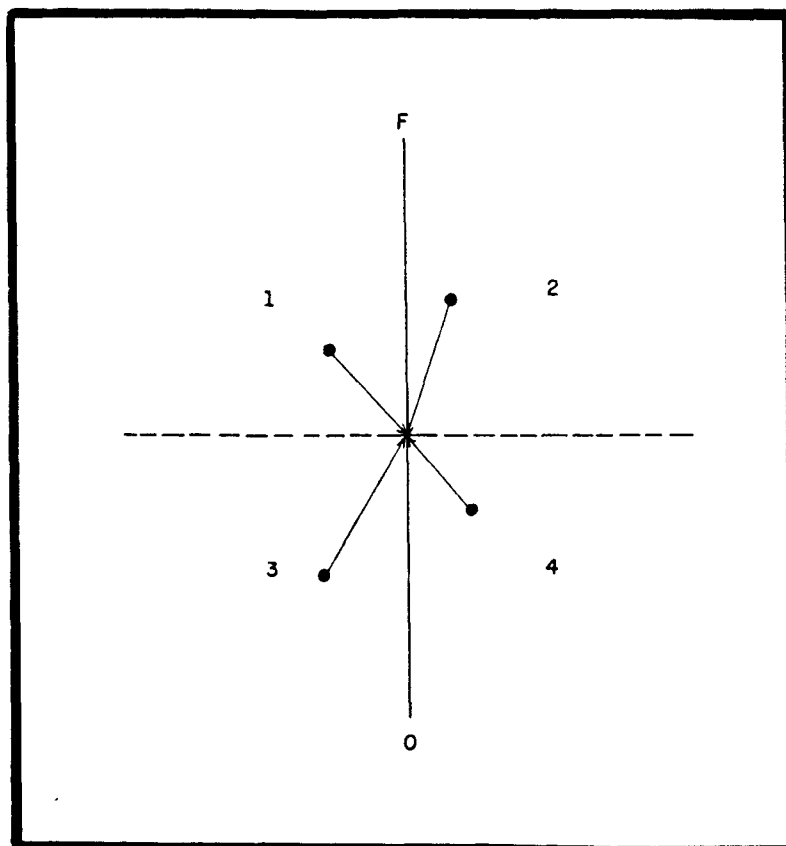


Fig. 3.5 - Esquema de aplicação do Método do Quadrante.

FONTE: Modificada a partir de Goldsmith et al. (1976), p. 102.

- ——— Linha base OF
- - - - - Linha imaginária transversal a linha base
- 1,2,3,4 Quadrantes de estudo (NO, NE, SO, SE)
- Q-F Direção do caminhamento (O-origem, F-fim)
- + Ponto amostral
- • Indivíduo arbóreo mais próximo ao ponto amostral

O Método de Intercepção de Linha é aplicado com a extensão de linhas sobre o solo e seguintes medições dos parâmetros de interesse das plantas interceptadas (Cain e Castro, 1971). Objetiva a obtenção da área do solo coberta pelas partes aéreas das plantas (Curtis e Cottam, 1969). Sua aplicação permite a aquisição de informações referentes a frequência, densidade e cobertura, a partir de dados relacionados a diâmetro de copa, comprimento do intercepto e espécies observadas.

As linhas distribuídas devem apresentar extensão reduzida, para gerarem dados de maior precisão (Smith, 1983), e estarem dispostas em direção aleatória, evitando-se a superposição de linhas (Henriques et al., 1986).

Linhas de 50 metros de comprimento foram estendidas, em direções aleatórias, nas áreas a serem amostradas. Cada indivíduo interceptado por uma linha teve suas características de interesse medidas. A saber: altura, extensão do intercepto (comprimento da projeção da copa sobre a linha base), distância do indivíduo com relação ao ponto inicial da transecção e largura máxima da copa em direção perpendicular a linha base (Figuras 3.6 e 3.7).

Considerando que as formações arbustivas da área de estudo são constituídas por moitas, cada moita foi considerada como um indivíduo.

Este método foi aplicado nas áreas correspondentes as Formações de Clusia (subdividida em dois padrões tonais e classes espectrais) e Ericacea, segundo classificação de Henriques et al. (1986).

3.9.2.3 - MÉTODO DOS QUADRADOS

Este método, de amostragem de formações vegetais, é caracterizado pelas observações de áreas amostrais cujas formas geométricas e tamanhos sejam constantes.

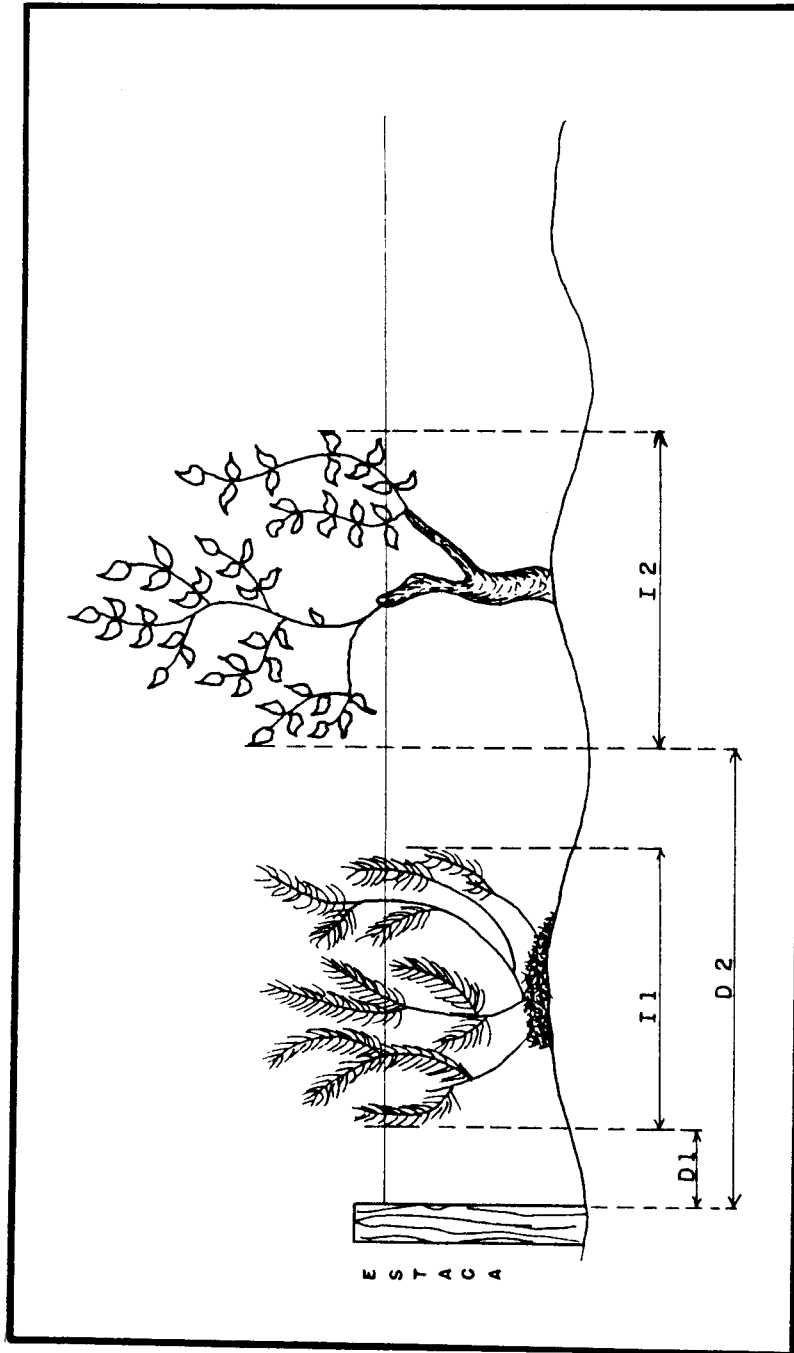


Fig. 3.6 - Esquema de aplicação do Método de Intercepção de Linha - Vista Lateral.

FONTE: Modificada a partir de Brower e Zar (1977).

- I_1 e I_2 : extensão do intercepto dos indivíduos 1 e 2.
- D_1 e D_2 : distância dos indivíduos 1 e 2 com relação ao ponto inicial da transecção.

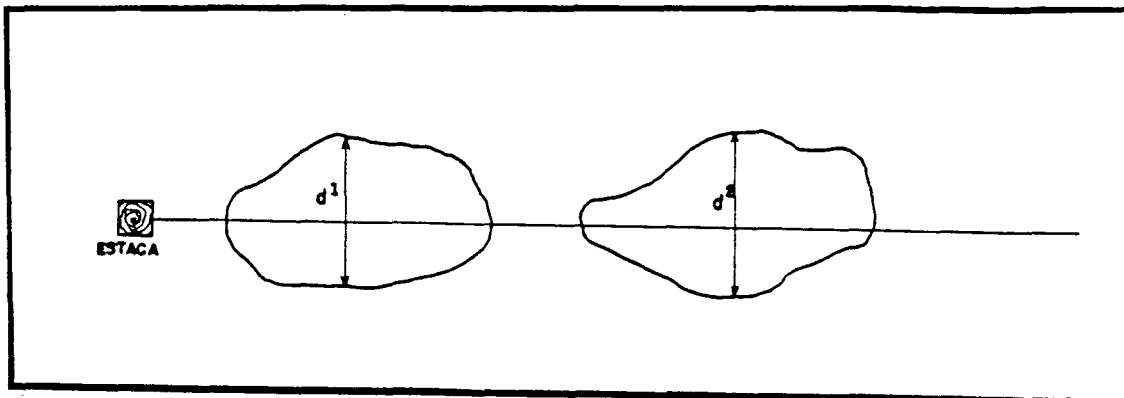


Fig. 3.7 - Esquema de aplicação do Método de Intercepção de Linha - Vista de Cima.

- d_1 e d_2 : largura máxima da copa dos indivíduos 1 e 2.

Tradicionalmente, sua aplicação é realizada a partir de grades quadradas (Curtis e Cottam, 1969). Estas grades, distribuídas de forma aleatória dentro da extensão da área a ser amostrada, permitem, a partir das observações e medições realizadas da amostra, a estimativa das características fitofisionômicas de frequência, densidade e cobertura das espécies. Bem como, a partir dos dados coletados, é possível a avaliação do potencial de uniformidade das características avaliadas na área amostrada (Ashby, 1969).

O tamanho do quadrado (ou amostra) varia de acordo com a proposta de trabalho. Weaver e Clements (1938) sugerem áreas de 1 m^2 para os estudos de formações herbáceas.

Este método foi aplicado na Formação Graminóide Arbustiva, segundo a classificação de Henriques et al. (1986). Uma vez que, no campo, esta formação apresentou-se tipicamente como herbácea inundável. Nesta formação, áreas de 1 m^2 foram observadas de forma aleatória e com algumas repetições, considerando apenas a porcentagem de cobertura do solo apresentada por cada amostra. A cobertura apresentada foi definida a partir de intervalos de: 80%; 40 - 80%; 10 - 40%; 2 - 10%; 2%; e avaliada através da tabela padrão de cobertura do solo (Figura 3.8).


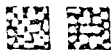
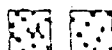
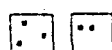
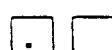
1) > 80%	
2) 40 - 80%	
3) 10 - 40%	
4) 2 - 10%	
5) < 2%	

Fig. 3.8 - Padrão de classes de cobertura do solo.

O Método dos Quadrados também foi aplicado na formação arbustiva denominada Clusia (Henriques et al., 1986). Sua utilização buscou a determinação da cobertura herbácea apresentada nas áreas que, correspondentes a esta formação, apresentaram variações nos padrões tonais e/ou classes espectrais nas imagens realçadas e classificadas.

A aplicação deste método nesta formação foi associada ao Método de Intercepção de Linha. Onde os intervalos da linha base que não apresentaram intercepto com a vegetação arbustiva, foram anotados e sorteados para amostragem. Os intervalos sorteados tiveram sua cobertura herbácea estimada, considerando que: apresentassem uma extensão de 1 metro em direção concordante com a linha base e 50 centímetros para cada lado em direção perpendicular à linha base, formando então 1 metro quadrado de área. As observações realizadas com respeito a cobertura herbácea desta formação basearam-se também na comparação com a tabela de padrões de classes de cobertura do solo (Figura 3.8).

3.10 - ANÁLISE DOS DADOS DE CAMPO

A partir dos dados coletados no campo, foi efetuada a caracterização de alguns parâmetros referentes as formações vegetais analisadas.

3.10.1 - FORMAÇÕES FLORESTAIS

Os dados obtidos a partir da aplicação do Método dos Quadrantes permitiu a identificação dos seguintes parâmetros, segundo Brower e Zar (1977) e Cardoso et al. (1988): Área basal média (\overline{AB}); Distância média entre indivíduos e o ponto amostral (\overline{D}); Número total de indivíduos por unidade de área (NTA); Altura média (\overline{H}); e Altura máxima (H_{max}) considerando unicamente indivíduos arbóreos.

A área basal média (\overline{AB}) é calculada a partir dos valores de área basal obtidos dos indivíduos considerados, a partir das Fórmulas:

$$AB = \frac{C^2}{4\pi} \quad (3.1)$$

onde,

$$\begin{aligned} AB &= \text{área basal} \\ C &= \text{circunferência a altura do peito} \\ \pi &= 3,1416 \end{aligned}$$

e,

$$\overline{AB} = \frac{\sum AB}{n} \quad (3.2)$$

onde,

$$\begin{aligned} \overline{AB} &= \text{área basal média} \\ \sum AB &= \text{somatório de áreas basais} \\ n &= \text{número de indivíduos considerados} \end{aligned}$$

A Distância média indivíduo-ponto amostral (\overline{D}) é avaliada em função das diversas distâncias obtidas ao longo do caminharmento, a partir da Fórmula:

$$\overline{D} = \frac{\sum D}{n} \quad (3.3)$$

onde,

\bar{D} = distância média

$\sum D$ = somatório das distâncias indivíduo-ponto amostral

n = número de indivíduos considerados

O Número total de indivíduos por unidade de área (NTA) é obtido a partir da Distância média (\bar{D}), sendo dado pela Fórmula:

$$NTA = \frac{U}{(\bar{D})^2} \quad (3.4)$$

onde,

NTA = número total de indivíduos por unidade de área

U = unidade de área (10.000 m²)

\bar{D} = distância média

3.10.2 - FORMAÇÕES ARBUSTIVAS

Os parâmetros avaliados nestas formações, a partir dos dados coletados no campo, com a aplicação do Método de Intercepção de Linha, foram, segundo Brower e Zar (1977) e Cardoso et al. (1988): Densidade linear (DL); Densidade absoluta (DA); Cobertura (C); Altura média (\bar{H}); e Altura máxima (H_{max}). Cada moita interceptada pela linha foi considerada como um indivíduo.

A Densidade linear (DL) é obtida a partir da relação entre o número de indivíduos que tocaram a linha e o comprimento total da linha base. Expressa o número de indivíduos presentes em um metro linear, sendo dado pela Fórmula:

$$DL = \frac{n}{L} \quad (3.5)$$

onde,

DL = densidade linear
n = número de indivíduos
L = comprimento da linha base

A Densidade absoluta (DA) é obtida a partir do somatório dos diâmetros, relacionado com o comprimento total da linha base. Expressa o número de indivíduos por área, sendo dada pela Fórmula:

$$DA = \frac{\sum l/d}{L} \times 100 \quad (3.6)$$

onde,

DA = densidade absoluta (%)
d = diâmetro da copa
L = comprimento da linha base

A Cobertura (C) é obtida a partir da projeção das copas sobre o solo, baseado no intercepto destas sobre a linha base. Expressa a porcentagem de cobertura do solo, sendo dada pela Fórmula:

$$C = \frac{l_i}{L} \times 100 \quad (3.7)$$

onde,

C = cobertura (%)
li = total da linha interceptada pela copa
L = comprimento da linha base

3.10.3 - FORMAÇÕES GRAMINÓIDES

Os dados coletados com referência a estas formações permitem apenas a avaliação das classes de cobertura do solo.

3.11 - CLASSIFICAÇÃO DIGITAL SUPERVISIONADA

Utilizando-se das informações obtidas no campo, associadas às classes espectrais apresentadas pelas classificações digitais não supervisionadas realizadas (no subconjunto de bandas TM 1 a 5 e 7; no triplete de imagens componentes principais e no quarteto de imagens razão selecionado), foram identificadas as áreas amostrais a serem fornecidas para a aplicação do algoritmo de classificação digital supervisionada - Maxver,

Baseado no princípio da classificação híbrida (Siegal e Abrams, 1976), as classes espectrais de interesse foram amostradas a partir dos centros de agrupamentos (áreas mais homogêneas) apresentados pela classificação digital não supervisionada (K-Médias), analisados no trabalho de campo.

As amostras apresentadas na fase de treinamento foram referentes às classes: Clusia Clara (2), Clusia Escura (2), Ericacea (2), Graminóide (2) e Mata (4), totalizando doze amostras igualmente localizadas entre os três subconjuntos de bandas e imagens (bandas TM 1 a 5 e 7; triplete de imagens componentes principais; quarteto de imagens razão selecionado) submetidos à classificação digital.

A aplicação do algoritmo Maxver às bandas originais baseou-se em May Jr. (1986); às imagens componentes principais, em Ueno et al. (1985); e às imagens razão em Roy (1987). Considerando que estas classificações basearam-se em amostras idênticas entre si, é facultada uma análise comparativa dos resultados apresentados. Para este fim, foi feita uma uniformização de cores para que classes espectrais idênticas fossem representadas com cores iguais em qualquer das classificações Maxver realizadas.

3.12 - ANÁLISE DOS PRODUTOS GERADOS

De posse das informações obtidas no campo, com referência às características fitofisionômicas, meio físico e antropismos, foi rea

lizada a fotointerpretação das composições coloridas formadas e a fotoanálise das classificações digitais supervisionadas obtidas. Ambos os procedimentos basearam-se nas fotografias em "slide" tiradas do monitor de imagens do analisador de imagens multiespectrais (SITIM-150), analisadas em "overlay", sobre base cartográfica, com o auxílio do Ampliador Óptico PROCOM-2.

3.12.1 - FOTOINTERPRETAÇÃO DE COMPOSIÇÕES COLORIDAS

A fotointerpretação, das composições coloridas de: bandas TM selecionadas, imagens componentes principais, imagens decorrelacionadas, imagens razão e imagens realçadas por IHS, buscou a associação das feições espectrais apresentadas, às características avaliadas no campo.

Buscando uma análise comparativa entre as composições coloridas formadas, foram extraídas informações referentes ao potencial de detecção e discriminação das feições de interesse, a partir de cada produto.

O potencial de detecção refere-se a capacidade apresentada, por cada composição colorida de, a partir de análise visual, destacar cada uma das feições de interesse. Enquanto que, o potencial de discriminação refere-se a análise de um produto, visando destacar, entre as feições de interesse, aquelas que são diferenciadas visualmente entre si.

3.12.2 - FOTOANÁLISE DE CLASSIFICAÇÕES DIGITAIS SUPERVISIONADAS

Cada imagem classificada formada foi analisada, a partir da associação à cada classe espectral, as características observadas no campo.

Buscando uma avaliação entre as classificações digitais supervisionadas realizadas (bandas TM, imagens componentes principais e imagens razão), foram obtidas as matrizes de desempenho de classificação das amostras (Yool et al., 1986). Estas matrizes foram analisadas e comparadas entre si.

3.13 - DEFINIÇÃO DE TRANSECÇÕES E SEGUNDO TRABALHO DE CAMPO

De posse da fotointerpretação das composições coloridas e da fotoanálise das classificações digitais supervisionadas realizadas, foram identificadas as áreas aproximadas em que se deveriam realizar as transecções que amostrariam a sequência de feições da área.

Este trabalho de campo objetivou a checagem da distribuição e dimensionalidade linear das formações vegetais de interesse.

3.13.1 - LOCALIZAÇÃO DAS TRANSECÇÕES

Considerando que as transecções deveriam amostrar áreas que apresentassem uma grande alternância entre classes e/ou feições espectrais, e que todas as classes e feições deveriam ser amostradas no campo; foi definido, a priori (em gabinete) o número e o posicionamento aproximado das transecções a serem realizadas.

As transecções, perpendiculares às zonas de vegetação, se estenderam em direção normal à linha de quebra-mar (Magnanini, 1954).

3.13.2 - ATIVIDADES DE CAMPO

O segundo trabalho de campo realizou-se no período de 26/11/1989 a 10/12/1989, na época chuvosa da região.

A localização das transecções, definida anteriormente, de terminou o posicionamento dos trabalhos. Foi estendida uma linha base (fio de nylon) com a origem próxima a praia e com o sentido para o continente. Desta forma foram realizadas medições sequenciais referentes a extensão das diferentes feições fitofisionômicas interceptadas ao longo do alinhamento.

3.14 - ANÁLISE CONJUNTA DAS INFORMAÇÕES

De posse dos dados de campo, das fotointerpretações das composições coloridas formadas e das fotoanálises das classificações digitais supervisionadas, foram feitas análises referentes a qualidade dos produtos com relação ao objetivo de caracterização fitofisionômica da Restinga de Carapebús - Macaé (RJ).

3.14.1 - ORGANIZAÇÃO DOS DADOS

Os dados obtidos no campo, com referência as transecções realizadas, foram organizados sob a forma de perfis de distribuição de classes de formações vegetais.

3.14.2 - SELEÇÃO DOS PRODUTOS

Foi analisada a concordância apresentada entre as informações referentes as características avaliadas nos trabalhos de campo, com relação as feições e classes espectrais apresentadas pelas composições coloridas fotointerpretadas e classificações digitais supervisionadas realizadas.

As composições coloridas foram analisadas a partir do potencial apresentado com relação a detecção e discriminação das feições de interesse.

As classificações digitais supervisionadas foram avaliadas em função do desempenho de classificação das amostras e da concordância apresentada pelas classes espectrais identificadas com relação aos dados obtidos no campo. Esta análise se fez, em especial, com relação as alternâncias das feições fitofisionômicas da área com aquelas apresentadas pelas classes espectrais identificadas pelas classificações digitais.

As análises, então realizadas, foram comparadas entre si e proporcionaram a seleção daqueles produtos que se apresentaram como mais indicados aos objetivos do trabalho proposto.

3.15 - CARACTERIZAÇÃO FITOFISIONÔMICA

De posse dos dados bibliográficos e de campo, foi efetuada a caracterização fitofisionômica das classes de vegetação destacadas na área e no(s) produto(s) selecionado(s).

3.16 - ANÁLISE ESPECTRAL DOS DADOS

Foram identificadas as curvas espectrais das formações vegetais visualizadas dentre os produtos (composições coloridas e classificações digitais supervisionadas) gerados.

Estas curvas foram formadas a partir dos valores médios apresentados pelos números digitais correspondentes respectivamente a cada formação vegetal e banda espectral considerada (TM 1-2-3-4-5-7). Estes números digitais foram extraídos da cena a partir da leitura de "pixels" realizada por amostragem dentre as formações vegetais consideradas.

Uma breve análise dos resultados apresentados pelas curvas espectrais geradas foi então realizada.

3.17 - APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Esta apresentação foi feita a partir de um documento técnico que objetivou fornecer o maior detalhamento descritivo possível, com relação as etapas de trabalho cumpridas e resultados alcançados, bem como a representação cartográfica da caracterização fitofisionômica da área estudada.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerando os diversos procedimentos empregados e atividades propostas, necessárias ao desenvolvimento metodológico a que se propõe este trabalho, os resultados alcançados foram distribuídos em várias fases. Estas, abrangem os resultados obtidos dos processamentos digitais, dos trabalhos de campo e, principalmente, a definição da metodologia mais adequada à caracterização fitofisionômica da Restinga de Carapêbus - Macaê (RJ).

4.1 - AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE PRÉ-PROCESSAMENTO DIGITAL

A aplicação de técnicas de correção dos efeitos de atenuação atmosférica e de radiometria permitiu o destaque de algumas observações com relação às características da cena.

4.1.1 - CORREÇÃO DOS EFEITOS DE ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA

Os valores digitais apresentados pelos "pixels" destacados de áreas correspondentes à sombra de relevo e água foram comparados entre si, banda a banda espectral; objetivando a aplicação do Método de Subtração do "Pixel" Escuro (Crippen, 1987).

Os valores apresentados pela água mostraram-se relativamente maiores do que aqueles referentes a sombra de relevo. Este fato permitiu a constatação de que outros fatores, além daqueles de atenuação atmosférica, deveriam estar atuando sobre a resposta espectral detectada da água (provavelmente a turbidez promovida pela presença de sedimentos em suspensão).

Desta forma, os valores obtidos dos "pixels" referentes a sombra de relevo foram adotados para a aplicação da técnica de Subtração do "Pixel" Escuro.

A correção da atenuação dos efeitos atmosféricos, banda a banda espectral, foi realizada a partir da subtração dos seguintes valores: TM1 (28), TM2 (11), TM3 (9), TM4 (6), TM5 (1) e TM7 (1), das imagens originais (considerando o intervalo de números digitais entre zero - 0 - e duzentos e cinquenta e cinco - 255). O posicionamento no espectro eletromagnético das primeiras bandas espectrais, determinou os maiores valores de correção adotados. Estas bandas espectrais (TM1, TM2 e TM3) localizam-se na região do visível, onde ocorre o maior espalhamento de energia em função dos elementos atmosféricos.

4.1.2 - CORREÇÃO RADIOMÉTRICA

Foi realizada a inspeção automática (SITIM-150) para a correção radiométrica dos dados originais apresentados pelas bandas TM1-TM2-TM3-TM4-TM5-TM7.

A partir da inspeção visual banda a banda espectral, não foi detectado nenhum ruído perceptível visualmente.

4.1.3 - ANÁLISE COMPLEMENTAR

A análise comparativa dos dados estatísticos (Tabelas B.1 e B.2) apresentados pelas bandas espectrais antes e depois da aplicação das técnicas de pré-processamento - correção dos efeitos de atenuação atmosférica e de radiometria - (Tabela 4.1), permite destacar que as mudanças dos parâmetros das bandas apresentaram-se relativamente baixas, para a imagem e área de estudo.

A matriz dos coeficientes de correlação apresentou variações que se limitaram ao intervalo de mais ou menos 1/100 entre os valores. Enquanto que os dados das matrizes de variância e covariância, comparados entre si, apresentaram variações inferiores a 5%. Estes resultados são considerados relativamente baixos, levando em conta que a aplicação das técnicas de pré-processamento elimina grande parte dos dados espúrios presentes nas imagens.

TABELA 4.1 - ANÁLISE COMPARATIVA DOS DADOS ESTATÍSTICOS APRESENTADOS PELAS BANDAS ESPECTRAIS ANTES E APÓS A APLICAÇÃO DAS TÉCNICAS DE PRÉ-PROCESSAMENTO DIGITAL

VARIAÇÕES ENTRE COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO						
Banda Banda	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	0,00					
TM2	0,01	0,00				
TM3	0,00	0,00	0,00			
TM4	0,01	0,00	0,00	0,00		
TM5	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	
TM7	0,00	-0,01	0,00	-0,01	0,00	0,00

VARIAÇÕES, EM PORCENTAGEM, DAS DIFERENÇAS ENTRE OS DADOS DE VARIÂNCIA - COVARIÂNCIA						
Banda Banda	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	4,25					
TM2	3,63	2,80				
TM3	4,54	3,40	3,71			
TM4	2,67	0,91	2,61	0,20		
TM5	4,41	3,20	4,13	1,11	3,54	
TM7	3,06	1,82	2,86	0,12	3,09	1,54

VARIAÇÕES, EM PORCENTAGEM, ENTRE AS MÉDIAS DOS VALORES DIGITAIS						
Banda Espectral	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Variação nº Digital (%)	47,21	47,05	30,97	13,16	2,83	5,01

Ainda assim, estes dados não podem ser extrapolados a todas as imagens e áreas de estudo que têm suas bandas espectrais submetidas a processos de correção das atenuações atmosféricas e do efeito de radiometria. Por vezes, a interferência atmosférica altera tantos os resultados que, na tentativa de atenuá-la, alguma informação é perdida no processo. Além de que, com a existência de deformações radiométricas acentuadas, a aplicação de técnicas de correção pode promover uma profunda alteração dos dados. Bem como, correções radiométricas muito drásticas podem mascarar variações radiométricas abruptas determinadas pelas características intrínsecas ao alvo.

A comparação dos valores médios dos números digitais das bandas espectrais pré-processadas e não pré-processadas permite destacar que os dados relativos às bandas 1, 2 e 3 do Sensor TM são mais alterados pela atenuação atmosférica, do que os dados das demais bandas. A atenuação atmosférica nas bandas localizadas no espectro visível exige a aplicação de correções mais acentuadas e, conseqüentemente, os dados corrigidos apresentam resultados relativamente mais diferenciados dos dados originais. Enquanto, considerando que a interferência atmosférica na região do infravermelho refletido próximo e médio é relativamente menor, em especial com referência ao espalhamento da energia eletromagnética; os dados das bandas 4, 5 e 7 do Sensor TM apresentam-se menos afetados pelos componentes atmosféricos.

4,2 - SELEÇÃO DE BANDAS ESPECTRAIS

O triplete de bandas selecionado a partir de amostras fornecidas, tanto pelo critério de Distância $J-M^2$ Mínima como da Distância $J-M^2$ Média, foi formado pelas bandas espectrais 3-4-5 do Sensor TM (Tabela B.3). Em ambos os critérios, o par de classes que apresentou a menor distância na combinação de bandas destacada foi o das Formações Ericacea e Mata Paludosa.

Esta avaliação permite destacar que, comparativamente às demais, estas formações vegetais apresentam suas distribuições e os cen

tros de classes muito próximos entre si. Ambas as formações apresentam em comum alta cobertura do solo e considerável presença de água no subtrato (Seções 4,11,1,2 e 4,11,2,2).

Os resultados obtidos a partir da aplicação da metodologia de Yool et al. (1986) são apresentados na Tabela 4.2.

Estes dados permitem destacar que os três melhores subconjuntos de bandas TM selecionados foram: TM 2-4-5, TM 3-4-5 e TM 2-4-7; considerando que apresentam nesta ordenação os maiores valores de desempenho de classificação.

A análise conjunta dos resultados obtidos a partir da aplicação das duas técnicas (Seleção de Atributos e Análise da Matriz de Classificação Maxver de amostras) permite destacar que: dentre os três triplete de bandas TM apontados pela técnica de Seleção de Atributos, apenas o subconjunto formado pelas bandas TM 3-4-5 encontra-se entre os três primeiros subconjuntos destacados, a partir da análise da matriz de classificação Maxver de amostras. Confirmando, desta forma, a seleção deste triplete, entre os demais, para o trabalho proposto.

Este triplete apresenta ampla aplicação nos estudos referentes a vegetação; em especial, a áreas de vegetação litorânea, como destacam Lacy e Jensen (1987). Estes autores, indicam o subconjunto de bandas TM 3-4-5 como ótimo para separação espectral entre associações de plantas em ambientes próximos ao mar.

Hardisky et al. (1984) e Gross et al. (1988), entre outros, também se utilizaram de dados correspondentes às bandas TM 3-4-5, associados entre si, para estudos de produtividade e biomassa da cobertura vegetal de áreas costeiras.

Os intervalos espectrais abrangidos pelas bandas TM 3-4-5 englobam diferentes processos de interação entre a energia eletromagnêtica e o alvo vegetação. Favorecendo, desta forma, a identificação das diversas características inerentes ao alvo.

TABELA 4.2 - ORDENAÇÃO DECRESCENTE DOS MELHORES TRIPLETES DE BANDAS, OR-
TIDA A PARTIR DA ANÁLISE DA MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DE AMOS
TRAS MAXVER (MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA)

POSICIONA- MENTO	COMBINAÇÃO DE BANDAS TM	DESEMPENHO MÉDIO DE CLASSIFICA- ÇÃO (%)	ABSTENÇÃO MÉDIA (%)	CONFUSÃO MÉDIA (%)
1	2-4-5	93,31	4,87	1,82
2	3-4-5	93,24	4,95	1,82
3	2-4-7	92,80	5,09	2,11
4	1-4-5	92,73	5,16	2,11
5	2-3-4	92,65	4,29	3,05
6	3-4-7	92,44	5,09	2,47
7	4-5-7	92,22	5,45	2,33
8	2-3-5	92,07	4,29	3,64
9	1-4-7	91,93	4,51	3,56
10	1-2-4	91,93	4,65	3,42
11	1-3-4	90,84	4,36	4,80
12	1-2-5	90,69	5,38	3,93
13	1-3-5	90,62	4,65	4,73
14	3-5-7	90,47	5,02	4,51
15	2-5-7	89,96	5,16	4,87
16	1-5-7	89,38	5,16	5,45
17	2-3-7	89,09	4,80	6,11
18	1-3-7	86,55	4,95	8,51
19	1-2-7	85,67	5,16	9,16
20	1-2-3	83,35	4,51	12,15

4.3 - AVALIAÇÃO DAS TÉCNICAS DE REALCE

As diferentes técnicas de realce aplicadas neste trabalho visaram, em especial, a detecção e discriminação das feições de interesse; e foram analisadas sob a forma de composições coloridas.

4.3.1 - COMPOSIÇÃO COLORIDA DE BANDAS TM

As bandas espectrais do Sensor TM selecionadas (TM3-TM4-TM5) foram submetidas individualmente a técnica de Ampliação Linear de Contraste.

Ao triplete de bandas foram associadas as seis possíveis combinações entre as cores Vermelho (R), Verde (G) e Azul (B), e analisados visualmente os resultados apresentados. Em função da melhor detecção e discriminação das feições de interesse, foi destacada a combinação TM3 - Azul, TM4 - Vermelho e TM5 - Verde (Figura 4.1).

Esta composição colorida é apresentada por Ahern e Sirois (1989) em aplicações relativas a estudos de vegetação. Estas bandas espectrais também foram utilizadas por Santiago et al. (1986) em estudos referentes a áreas de reflorestamento.

4.3.2 - TRANSFORMAÇÃO POR COMPONENTES PRINCIPAIS

A partir da aplicação desta técnica de realce às bandas de 1 a 5 e 7 do Sensor TM, foram formadas seis novas imagens componentes principais, cujas características são apresentadas (Tabela B.4).

A participação das bandas espectrais na formação destas imagens componentes principais (Figura 4.2) reafirma a seleção do triplete de bandas espectrais do Sensor TM realizada anteriormente (Seção 4.2). Uma vez que, as bandas de maior participação na formação das três primeiras imagens componentes (bandas TM 5-4-1-3) estão entre aquelas selecionadas (TM 3-4-5), excetuando-se a banda TM1; a qual apresenta, dado seu posicionamento no espectro eletromagnético, considerável interferência atmosférica.

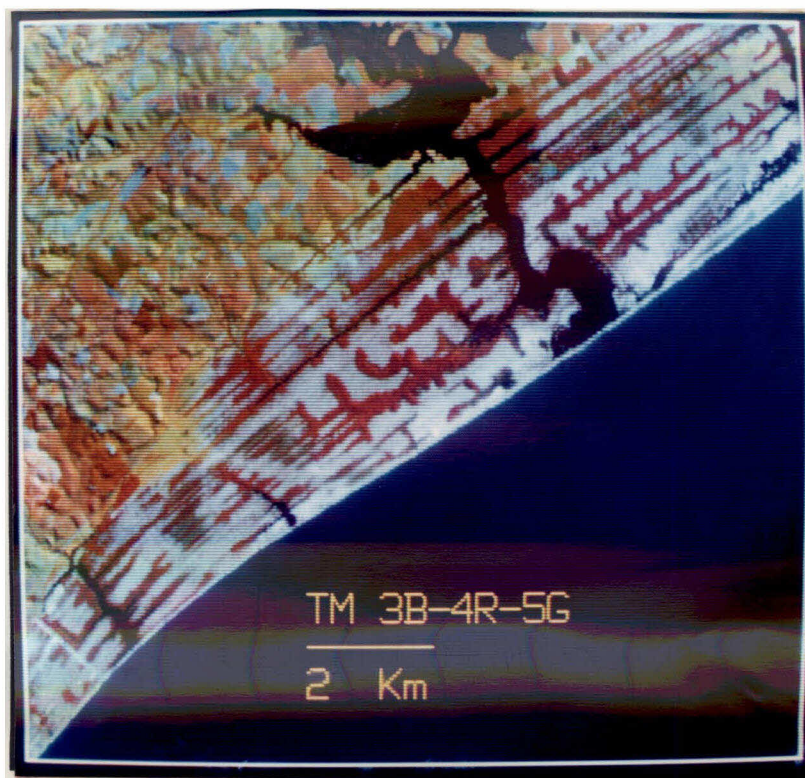


Fig. 4.1 - Composição colorida formada a partir do triplete selecionado de bandas TM.

- TM3 - B (Azul); TM4 - R (Vermelho); TM5 - G (Verde).

Dentre as imagens componentes principais criadas, as três primeiras apresentam acima de 98% de variância acumulada (Figura 4.3). Isso confirma dados de Canas e Barnett (1985) que afirmam a expectativa de que a primeira, a segunda e a terceira imagens componentes principais a presentem maior conteúdo informacional do que as demais imagens de pequena ordem.

As três primeiras imagens componentes principais formadas, realçadas a partir da técnica de Ampliação Linear de Contraste, foram respectivamente associadas às cores Vermelho (R) - Azul (B) - Verde (G); para a formação da composição colorida com os propósitos de melhor visualização dos alvos de interesse (Figura 4.4). As demais combinações de cores possíveis (cinco), foram testadas e não apresentaram elevado potencial à detecção e discriminação das feições na cena.

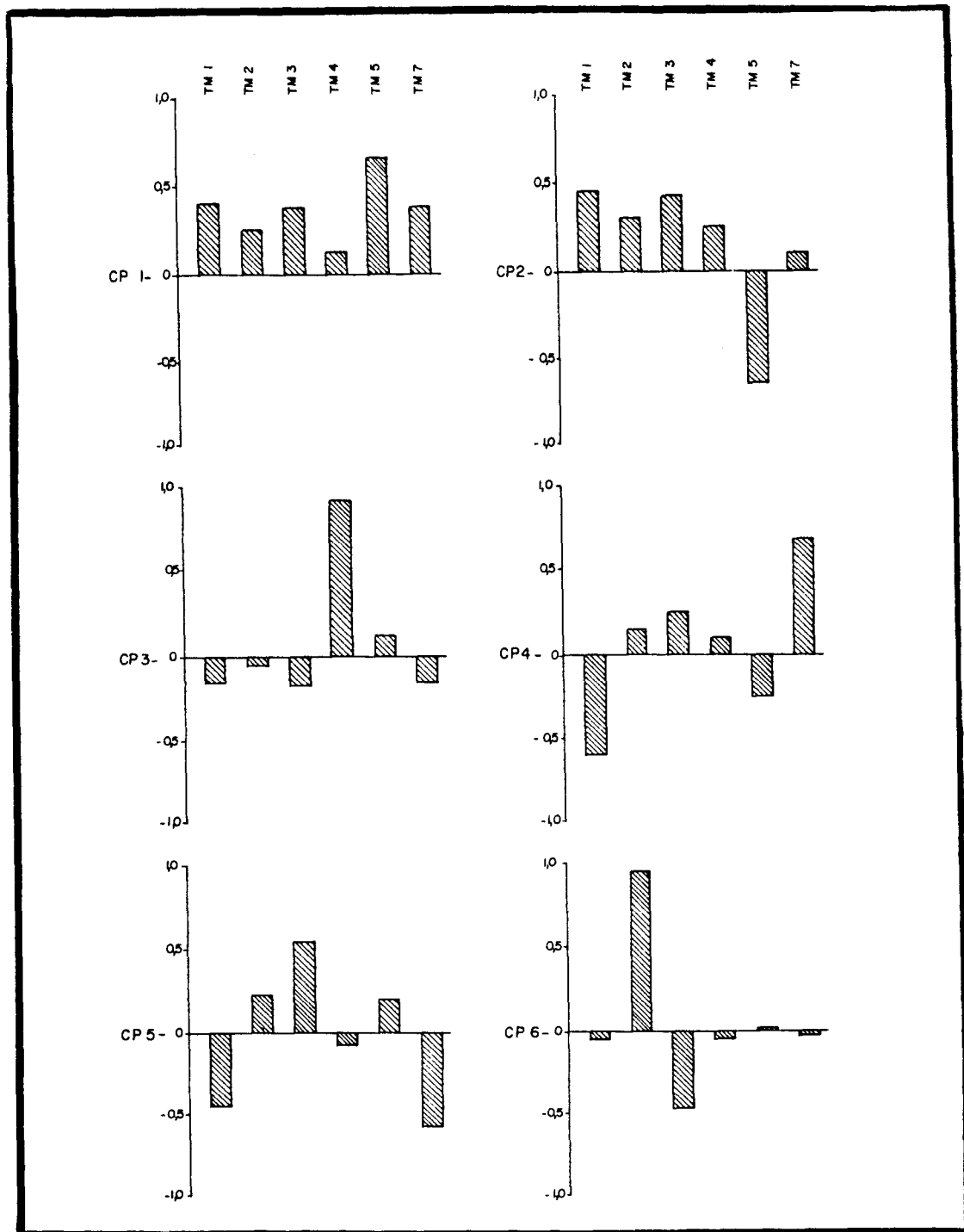


Fig. 4,2 - Representação gráfica da participação das bandas espectrais na formação das imagens componentes principais (CP), obtidas do subconjunto de bandas 1-2-3-4-5-7 do Sensor TM.

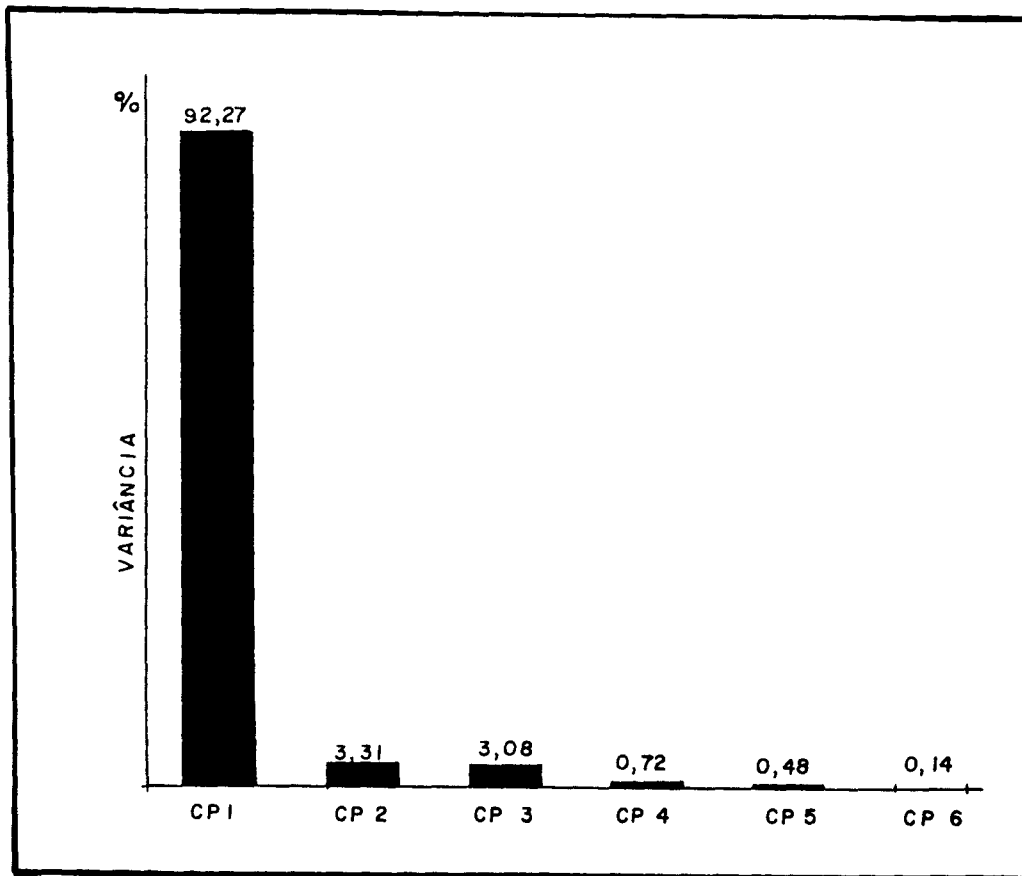


Fig. 4.3 - Representação gráfica da porcentagem da variância apresentada pelas imagens componentes principais (CP) obtidas do subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7.

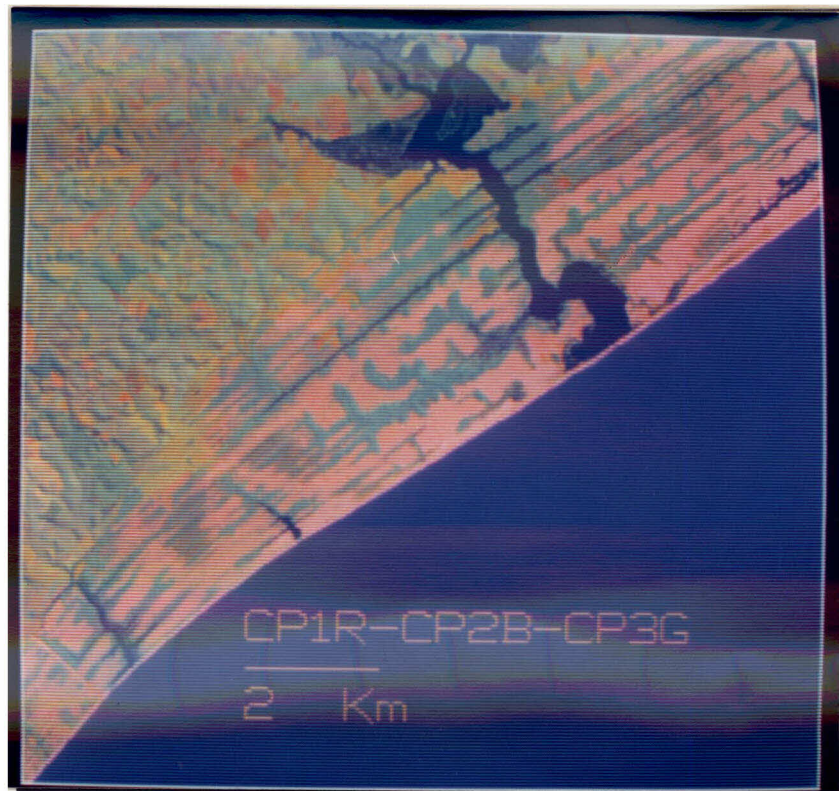


Fig. 4.4 - Composição colorida formada a partir das três primeiras imagens componentes principais (CP) obtidas do subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7.

- CP1 - R (Vermelho) - CP2 - B (Azul) - CP3 - G (Verde).

4.3.3 - TRANSFORMAÇÃO POR DECORRELAÇÃO DE BANDAS ESPECTRAIS

A aplicação da técnica de Transformação por Decorrelação, às bandas espectrais TM 3-4-5, utilizando o algoritmo implementado no SITIM, resultou em três imagens não correlacionadas.

Porém, o SITIM-150 apresenta limitações com relação a aplicação do algoritmo e a análise dos dados resultantes. Uma vez que, só permite o referido processamento a subconjuntos de três bandas e/ou imagens e não fornece dados referentes às matrizes de autovetores e autovalores, responsáveis pela transformação.

De acordo com o previsto por Kahle et al. (1980), as imagens criadas dispensaram a aplicação da técnica de Ampliação Linear de Contraste, para a formação de composições coloridas. Uma vez que, dentre os procedimentos envolvidos na formação das imagens decorrelacionadas, foi realizado o ajuste dos histogramas às distribuições gaussianas de variância especificada - equalizada; e este procedimento atuou exagerando a saturação e intensidade da cor, mantendo constante a matiz, segundo Abrams (1984).

As três imagens decorrelacionadas (1D-2D-3D) foram associadas as seis diferentes e possíveis combinações de cores, entre Vermelho (R), Verde (G) e Azul (B). Considerando que, estas imagens, sob a forma de composição colorida, permitem, a partir da análise visual, a identificação das feições de absorção características de cada banda espectral original (Rothery, 1987). A melhor combinação identificada foi 1D-B, 2D-G, 3D-R (Figura 4.5).

4.3.4 - RAZÃO DE BANDAS ESPECTRAIS

A partir das seis bandas espectrais (1 a 5 e 7) do Sensor TM, foram formadas trinta diferentes imagens razão, considerando os valores de ganho e "offset" que promoveram a maior variância e melhor visualização das feições de interesse (Tabela B.5).

De posse do subconjunto de imagens razão (TM2/TM4, TM3/TM4, TM3/TM5 e TM7/TM2), selecionado por Oliveira-Galvão et al. (1990a) como o mais indicado aos propósitos de estudo da vegetação da área de interesse, foram feitas as análises necessárias a identificação do triplete de imagens razão que melhor atendesse aos propósitos do presente trabalho.

A análise visual comparativa par a par das imagens razão destacou que as imagens TM2/TM4 e TM3/TM4 apresentaram grande redundância de informações; diferentemente dos demais pares analisados (TM2/TM4 e TM3/TM5; TM2/TM4 e TM7/TM2; TM3/TM4 e TM3/TM5; TM3/TM4 e TM7/TM2; TM3/TM5 e TM7/TM2).

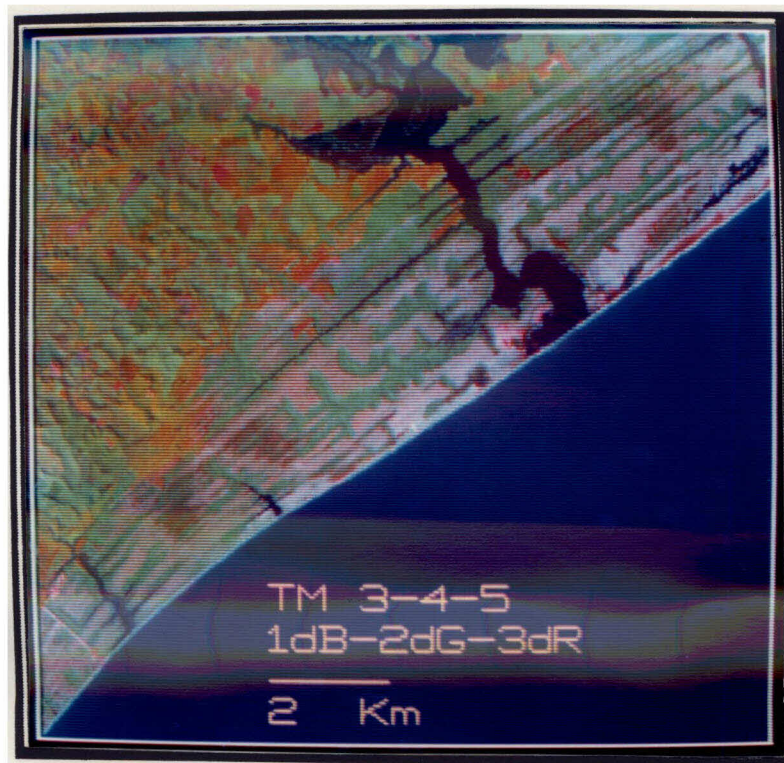


Fig. 4,5 - Composição colorida formada a partir das imagens decorrelacionadas, geradas do subconjunto de bandas TM 3-4-5.

- 1D - B (Azul) - 2D - G (Verde) - 3D - R (Vermelho).

A partir da análise visual das composições coloridas, formadas a partir das diversas combinações de cores possíveis com o quarteiro de imagens razão destacado, foi observado que a presença das imagens TM2/TM4 e TM3/TM4 na mesma composição colorida gera, sob qualquer combinação de cores, composições predominantemente monocromáticas, sem o realce dos alvos de interesse.

Teoricamente, estes resultados observados baseiam-se no comportamento espectral do alvo de interesse nas bandas envolvidas para a formação das imagens razão. Uma vez que, a vegetação apresenta, caracteristicamente, baixa reflectância na região do visível no espectro eletromagnético; abrangendo as bandas 1, 2 e 3 do Sensor TM. Enquanto que, na região do infravermelho próximo, a reflectância da vegetação é consideravelmente elevada, correspondendo a esta região a banda 4 do Sensor TM.

Portanto, a aplicação da técnica de Razão de Bandas, para a formação das imagens razão TM2/TM4 ou TM3/TM4 (no caso de interesse), apresenta como resultado o realce de feições semelhantes em ambas as imagens. E isto determina que, estas imagens presentes em uma mesma composição colorida, não apresentem informações adicionais àquelas observadas nas imagens isoladamente.

Considerando a redundância de informações apresentadas pelas imagens razão TM2/TM4 e TM3/TM4, em associação ao fato de que, nas regiões correspondentes aos menores comprimentos de onda no espectro eletromagnético ocorre a maior interferência atmosférica nos sinais detectados pelos sensores remotos (Seção 4.1.3); e que, mesmo com a aplicação do pré-processamento realizado, com o intuito de reduzir os efeitos de atenuação atmosférica, estes efeitos não são completamente eliminados; foi feita a seleção da imagem razão mais adequada ao estudo proposto. Entre as imagens TM2/TM4 e TM3/TM4, foi preterida a TM2/TM4.

Desta forma, o triplete de imagens razão selecionado compõe-se de: TM3/TM4, TM3/TM5 e TM7/TM2.

Pode-se destacar que a imagem TM3/TM4 apresenta, com relação à detecção e discriminação dos alvos de interesse (diferentes tipos de formação vegetal), qualidade semelhante a imagem TM3/TM4, a partir da análise visual.

Satherwhite e Henley (1987) e Plummer (1988) relacionam as bandas TM4 e TM3, a partir da formação de imagens razão, para estudos referentes a cobertura vegetal. Estas associações baseiam-se nos elevados contrastes apresentados pelo comportamento espectral da vegetação nestas regiões do espectro eletromagnético abrangidas pelas bandas TM anteriormente citadas. Uma vez que a absorção da energia eletromagnética apresenta-se elevada na região do visível (banda TM3), em particular em função dos pigmentos presentes na folha, resultando na baixa reflectância. Enquanto que, são consideravelmente altas a reflectância e a transmitância de energia na região do infravermelho próximo (banda TM4), especialmente em função da descontinuidade do mesófilo. A associação destes fa

tores permite altas correlações entre os dados de imagens razão com parâmetros diversos relativos a vegetação, conforme Satherwhite e Henley (1987) apresentam,

A imagem razão TM3/TM5 apresenta-se também com elevado potencial à detecção e discriminação das formações vegetais de interesse na área. Esta combinação de bandas espectrais é apresentada por Musick e Pelletier (1986) para avaliação do conteúdo de umidade do solo. Este parâmetro mostra-se de grande importância para a área de estudo, uma vez que este é um dos principais fatores limitantes a colonização e desenvolvimento da cobertura vegetal na restinga.

A imagem razão TM7/TM2, apesar de apresentar baixa performance na detecção e discriminação das feições de interesse, a partir da análise visual; foi a única imagem (dentre as trinta imagens razão formadas) a apresentar o desempenho de classificação, para a Formação da Mata Paludosa, considerado ótimo (maior do que 75%) - a partir da análise da matriz de classificação Maxver de amostras (Oliveira-Galvão et al., 1990a),

Musick e Pelletier (1986) também apresentam a combinação das bandas TM2 e TM7, sob a forma de imagens razão, para estudos referentes a variação do conteúdo de água no solo. A Formação "Mata Paludosa", melhor classificada digitalmente a partir da imagem TM7/TM2, apresenta no campo características semelhantes às de Formação Brejosa (Seção 4.11.1.2).

As imagens razão selecionadas foram, uma a uma, realçadas a partir da aplicação da técnica de Ampliação Linear de Contraste.

Formando composições coloridas tentativas, a partir da associação às cores Vermelho (R), Verde (G) e Azul (B) em todas as possíveis combinações com relação ao triplete de imagens razão TM3/TM4, TM3/TM5 e TM7/TM2, foi selecionada a seguinte composição: TM3/TM4-G, TM3/TM5-B e TM7/TM2-R (Figura 4.6).

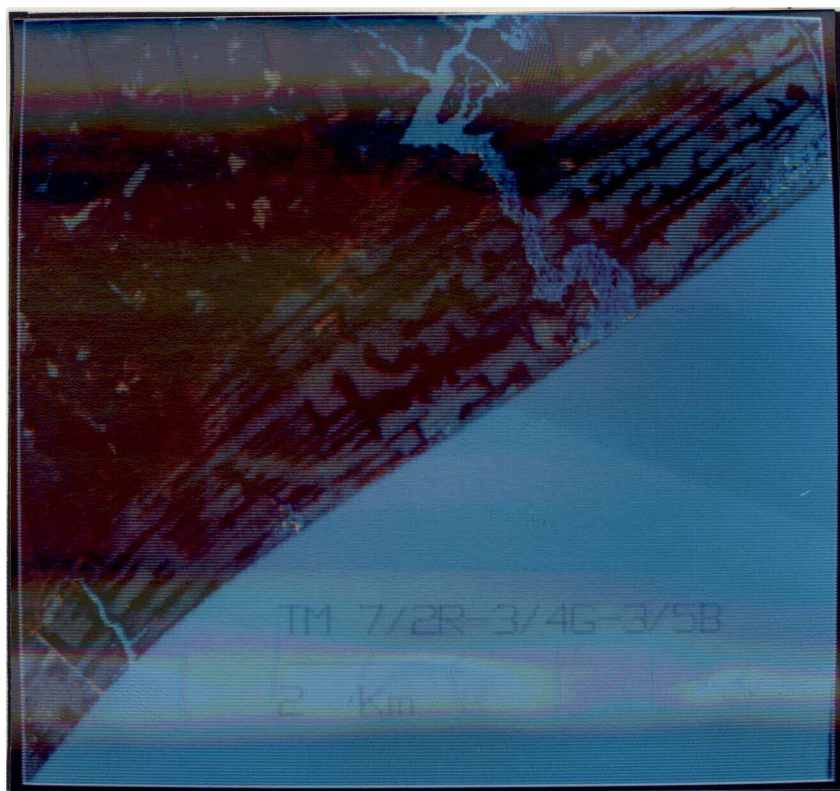


Fig. 4.6 - Composição colorida formada a partir das imagens razão selecionadas.

- TM3/TM4-G (Verde); TM3/TM5-B (Azul); TM7/TM2-R (Vermelho).

4.3.5 - TRANSFORMAÇÃO POR IHS

A partir da decomposição do triplete de bandas TM 3-4-5 nas componentes I (Intensidade), H (Matiz) e S (Saturação), com consequente balanceamento e retorno ao sistema aditivo de cores RGB, foi formada a composição colorida TM 4-I-R, TM 5-H-G e TM 3-S-B (Figura 4.7).

Nesta composição apresentaram-se bem realçadas todas as feições de interesse - formações vegetais - presentes na área de estudo, de acordo com o esperado, a partir de Correia et al. (1990). Esta composição colorida atuou representando fielmente o comportamento espectral apresentado pelos alvos identificados no campo, conforme afirmação anterior de Gillespie (1980).

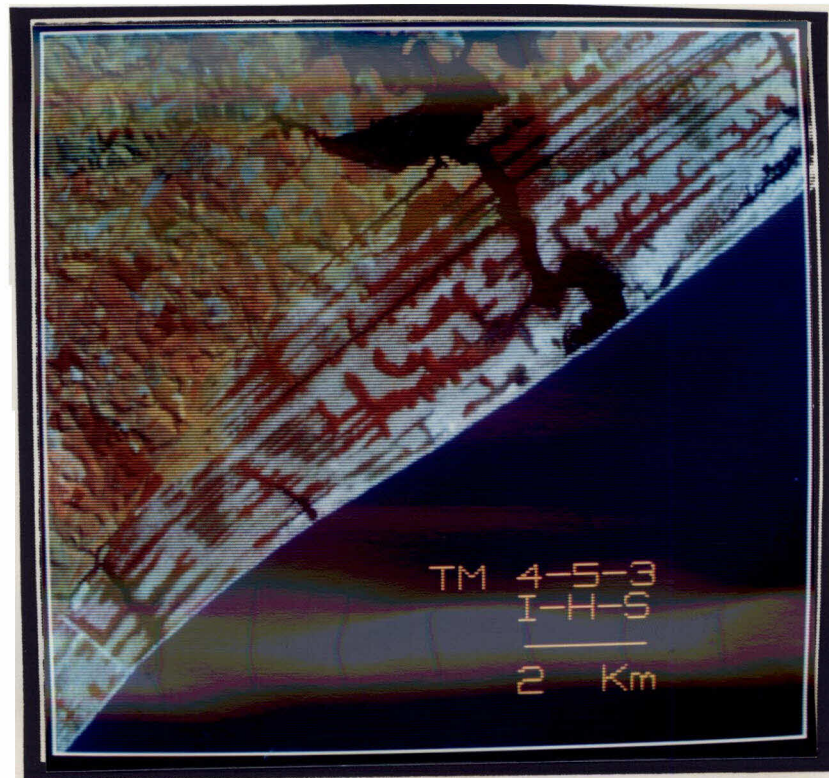


Fig. 4.7 - Composição colorida formada a partir das imagens realçadas pela transformação IHS.

- TM 3 - S - B (Saturação - Azul).
- TM 4 - I - R (Intensidade - Vermelho).
- TM 5 - H - G (Matiz - Verde).

4.4 - CLASSIFICAÇÃO DIGITAL NÃO SUPERVISIONADA

A partir da aplicação do algoritmo K-Médias, aos subconjuntos de bandas e/ou imagens realçadas, foram obtidos resultados bem semelhantes entre si, destacando apenas as diferentes classes espectrais presentes na imagem, sem definição muito precisa de seus limites geográficos.

A classificação não supervisionada (K-Médias) a partir das bandas TM 1-2-3-4-5-7 é apresentada na Figura 4.8. A aplicação do algoritmo K-Médias as três primeiras imagens componentes principais, geradas do subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7, resultou na imagem classificada

apresentada na Figura 4,9, O quarteto de imagens razão selecionado (TM2/TM4, TM3/TM4, TM3/TM5 e TM7/TM2), submetido à classificação digital não supervisionada, resultou na imagem classificada apresentada na Figura 4,10.

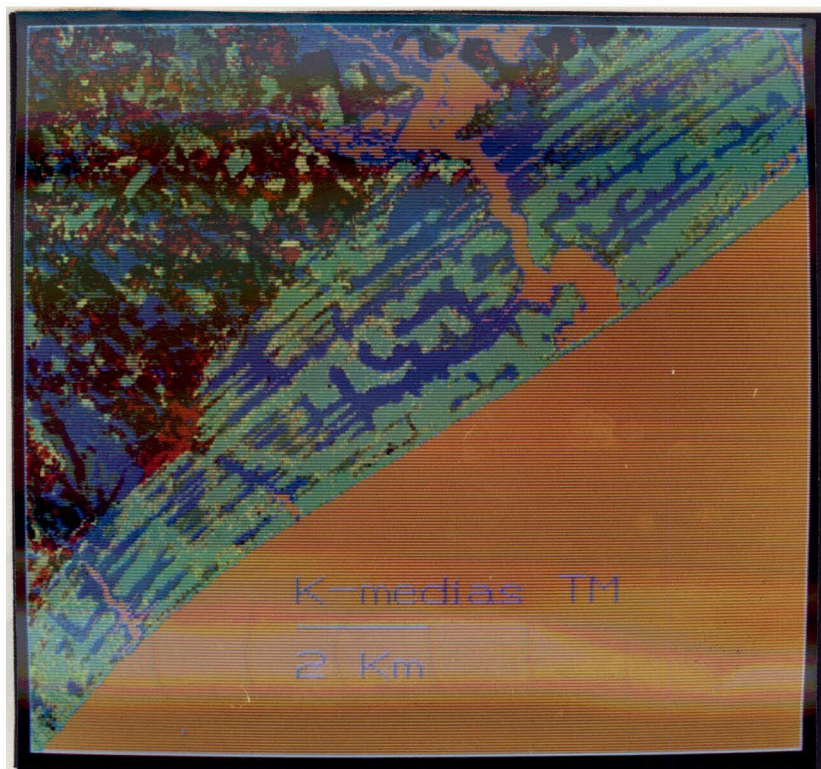


Fig. 4,8 - Imagem classificada digitalmente, a partir da aplicação do algoritmo K-Médias às bandas espectrais TM 1-2-3-4-5-7.

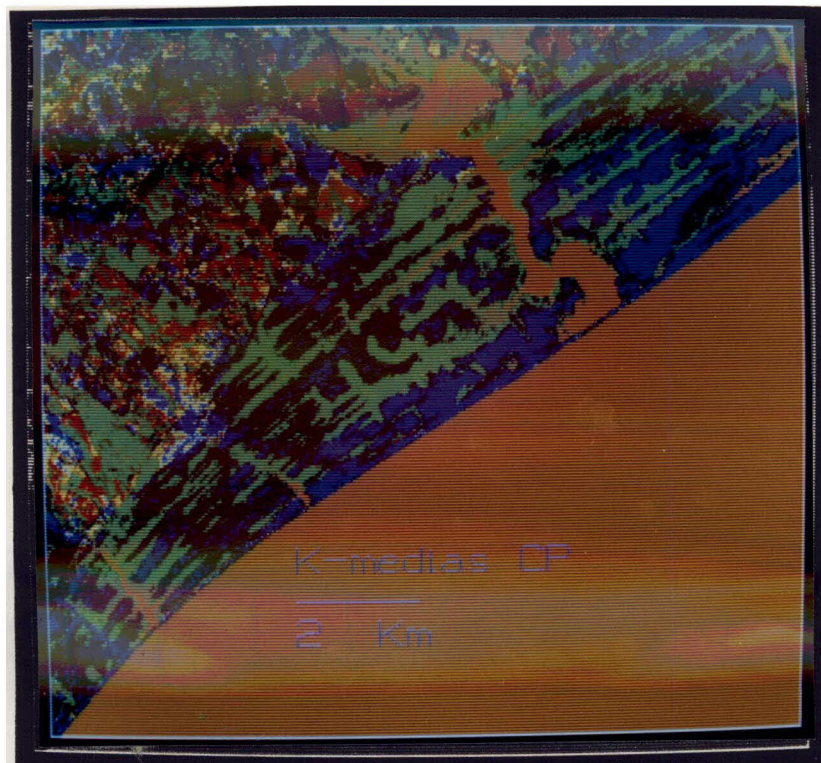


Fig. 4.9 - Imagem classificada digitalmente, a partir da aplicação do algoritmo K-Médias às três primeiras imagens componentes principais, geradas do subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7.

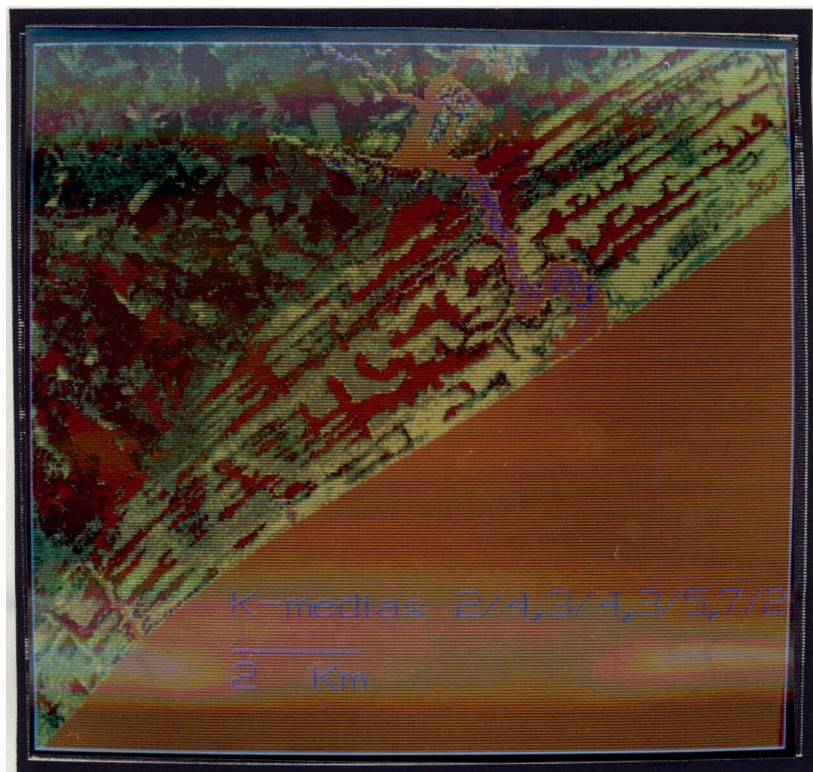


Fig. 4,10 - Imagem classificada digitalmente, a partir da aplicação do algoritmo K-Médias ao quarteto de imagens razão selecionado TM2/TM4 - TM3/TM4 - TM3/TM5 - TM7/TM2.

4.5 - FOTOANÁLISE DOS PRODUTOS GERADOS

A fotoanálise, realizada a partir de "overlays", permitiu a obtenção de informações geradas tanto pelas composições coloridas formadas quanto pelas classificações digitais não supervisionadas efetuadas.

4.5.1 - FOTOANÁLISE DE COMPOSIÇÕES COLORIDAS

Considerando unicamente as classes fitofisionômicas apresentadas por Henriques et al. (1986), com exceção das Formações "Praial Graminóide" e "Pós-Praia", as demais classes foram detectadas nas composições coloridas geradas. As formações não detectadas apresentam-se ao longo de cordões arenosos, com reduzidas extensões transversais (aproximadamente 10 metros) e justapostas às praias arenosas. Mostram alta cobertura do solo (Henriques et al., 1986) lado a lado de áreas de solo exposto (ausência de vegetação instalada), correspondendo, respectivamente, a fisiografia de antepraia e praia.

As Formações "Praial Graminóide" e "Pós-Praia" atuam de forma conjunta para a formação dos "pixels" correspondentes. Em consequência das diferentes características apresentadas pelas feições de antepraia e praia que se justapõem, era esperado um considerável contraste espectral entre ambas. Porém, os "pixels" referentes a estas áreas apresentam-se visualmente semelhantes àqueles que correspondem a áreas que integram apenas valores referentes a solo exposto. Uma vez que estas formações sequer foram detectadas, presume-se que a maior limitação ao registro das mesmas baseou-se fundamentalmente em sua abrangência espacial. Woodcock e Strahler (1987) destacam as limitações dos sensores remotos que, em função de suas resoluções espaciais, determinam além da escala de trabalho, as feições espectrais a serem detectadas.

As composições coloridas formadas a partir das imagens realçadas pelas técnicas de Decorrelação de Bandas e Transformação por IHS apresentaram variações espectrais na área correspondente a Formação de "Clusia" (Henriques et al., 1986). Estas variações caracterizaram dois diferentes padrões tonais presentes na área. Estes padrões sugerem a

necessidade de inspeção no campo de áreas representativas dessas variações (preliminarmente denominadas Clusia "Clara" e Clusia "Escura").

A fotoanálise das composições coloridas permitiu destacar também que aquelas formadas a partir das bandas TM (3B-4R-5G) e das imagens realçadas por IHS (TM 3-S-B - TM 4-I-R - TM 5-H-G) e por Decorrelação (TM 3-1D-B - TM 4-2D-G - TM 5-3D-R) apresentaram cores mais contrastadas e limites entre padrões espectrais melhor definidos, considerando as formações vegetais apresentadas por Henriques et al. (1986). Desta forma, conclui-se que estas composições coloridas apresentam maior potencial à discriminação das feições de interesse do que aquelas formadas pelas imagens componentes principais e imagens razão.

4.5.2 - FOTOANÁLISE DE CLASSIFICAÇÕES DIGITAIS NÃO SUPERVISIONADAS (K-MÉDIAS)

No geral, as imagens classificadas digitalmente atenderam aos objetivos propostos. Permitiram a identificação das classes espectrais presentes na cena, ainda que não possibilitando o delineamento de feições e, em consequência, a representação cartográfica. Uma vez que este classificador (K-Médias) baseia-se apenas nas características das imagens para definir as classes espectrais da cena (Justice e Townshend, 1982); e a imagem de estudo apresenta diversas variações de classes, abrangendo: mar, lagoas, áreas agrícolas, pastagens, solo exposto e classes de cobertura vegetal natural; os resultados obtidos corresponderam ao previamente esperado.

A classificação digital não supervisionada atuou, portanto, de forma suplementar aos dados de campo, como previsto por Palylyk e Crown (1984).

4.5.2,1 - K-MÉDIAS DE BANDAS ESPECTRAIS TM

A imagem classificada digitalmente (K-Médias), a partir das bandas do espectro refletido do Sensor TM, apresentou resultados relativamente confusos à análise; representando inúmeras áreas extremamente diminutas de classes espectrais distintas entre si.

Foram identificadas duas classes espectrais sob o domínio da área de "Mata de Restinga" apresentada por Henriques et al. (1986), onde uma classe espectral envolve a outra sob a forma de "aura" ao redor de seus limites (especialmente aqueles que se fazem com a formação arbustiva de Clusia).

Considerando que, entre as formações arbóreas e arbustiva observa-se uma estreita faixa de transição, provavelmente a classe que "envolve" a formação arbórea (florestal) seja resultante do efeito de borda, intrínseco a imagem (que determina os "pixels" complexos), em associação com um exagero do classificador nesta representação. Esta observação baseia-se no fato de que o algoritmo K-Médias classifica considerando basicamente as distâncias apresentadas entre os centros de classes e entre os diversos elementos componentes de uma mesma classe espectral, conforme aponta Swain (1973). O número de centros de classes é definido a priori pelo analista, enquanto que nenhuma informação adicional é apresentada para a classificação, com referência ao comportamento espectral das classes. Analisando basicamente as distâncias, o classificador pode assumir que as variações espectrais apresentadas pelas áreas de transição representem uma classe espectral distinta às formações arbustiva e arbórea. Ainda que, estas formações vegetais tenham considerável participação na resposta espectral apresentada pelos "pixels" correspondentes a esta classe (transição). Isto resulta na superestimação da área referente a classe espectral associada a zona de transição.

As demais formações vegetais apresentadas por Henriques et al. (1986) foram representadas por um aglomerado de diferentes classes espectrais. Provavelmente, baseado no considerável conteúdo informacional apresentado pelas bandas espectrais utilizadas, em associação com o número de centros de classes fornecido ao classificador (10).

Outro fator que certamente atuou sobre os resultados obtidos foi a participação da área de cultivo agrícola (indesejável) na classificação. Esta área, apresenta-se na cena sob diferentes padrões tonais e não pertence ao tema de interesse ao estudo (vegetação de restinga). Ao realizar os agrupamentos, o classificador também considera as variações espectrais das áreas de cultivo agrícola para definir os centros das classes identificadas.

4.5.2.2 - K-MÉDIAS DE IMAGENS COMPONENTES PRINCIPAIS

Esta classificação apresentou melhor destaque às classes de interesse do que aquela obtida a partir das bandas TM. A Formação de "Mata de Restinga" foi bem representada, ainda que, com a presença de pontuações referentes a intrusões de outra classe espectral. A Formação de "Clusia" também apresentou-se subdividida espectralmente (semelhante a algumas composições coloridas de imagens realçadas). As Formações de "Mata Paludosa", "Ericacea" e "Graminóide Arbustiva" foram consideravelmente bem classificadas.

Esta performance da classificação K-Médias, a partir de imagens componentes principais, provavelmente deve-se a redução da dimensionalidade dos dados e, especialmente, dos dados espúreos. Isto foi obtido a partir da aplicação da técnica de realce linear - Transformação por Componentes Principais; sequenciada pela seleção apenas das três primeiras imagens resultantes, que apresentaram o maior conteúdo informativo.

4.5.2.3 - K-MÉDIAS DE IMAGENS RAZÃO

A classificação com o algoritmo K-Médias, do subconjunto de imagens razão selecionado, apresentou melhor performance do que aquela obtida com base nas bandas espectrais do Sensor TM; contrariamente ao esperado, segundo Justice e Townshend (1982).

Esta classificação destacou as Formações de "Ericacea", "Graminóide Arbustiva" e "Mata de Restinga"; ao mesmo tempo em que apre

sentou duas classes espectrais para a Formação de "Clusia". As classes espectrais mostraram-se bem delimitadas e homogêneas.

A melhor performance desta classificação, com relação às demais (bandas TM e imagens componentes principais), certamente baseou-se no conteúdo informacional apresentado pelas imagens razão. Uma vez que, estas imagens foram selecionadas em função das características espectrais do alvo de interesse, considerando como objetivo a classificação digital da vegetação,

4.5.2.4 - ANÁLISE GERAL

A classificação digital não supervisionada, realizada a partir das bandas originais do Sensor TM, imagens componentes principais e razão selecionadas, não apresentou, no geral, uma performance muito boa. Este resultado deve-se basicamente a heterogeneidade de feições espectrais presente na cena, uma vez que, de acordo com a afirmação de Letts (1978), esta classificação depende fundamentalmente da capacidade do algoritmo definir áreas homogêneas e sua boa atuação é dificultada em imagens cuja heterogeneidade de feições seja uma constante.

Esta limitação do algoritmo K-Médias para a aplicação em áreas cuja complexidade de feições seja característica, que foi observada no presente estudo, também foi relatada por Lacaze e Jofre (1978). Isto decorre basicamente deste algoritmo utilizar-se unicamente de características não paramétricas (distâncias) para a definição das classes espectrais presentes nas imagens.

Porém, considerando que o objetivo da aplicação deste algoritmo à cena de estudo não fundamentou-se na classificação fitofisionômica, propriamente dita, e sim na identificação de diferentes classes espectrais presentes na área, este classificador (K-Médias) atuou de forma satisfatória a esta etapa de trabalho.

Os melhores resultados alcançados a partir desta classificação foram obtidos através das imagens componentes principais e razão

de bandas, comparativamente com a classificação realizada com as bandas originais do Sensor TM (1-2-3-4-5-7). Onde, tanto o triplete de imagens componentes principais quanto o quarteto de imagens razão, apresentaram o menor dimensionamento dos dados, bem como ambos os subconjuntos tiveram seus elementos selecionados em função das feições de interesse. As imagens componentes principais foram geradas a partir de áreas amostrais destacadas unicamente da área de interesse (Seção 3.6.1), de onde foram selecionadas aquelas imagens componentes com maior conteúdo informacional. As imagens razão foram selecionadas por Oliveira-Galyão et al. (1990a) em função da melhor representação das formações vegetais de interesse na área.

4.6 - PRIMEIRO TRABALHO DE CAMPO

Com o objetivo de serem adquiridos dados e informações referentes ao meio físico e às características fitofisionômicas presentes na área de estudo, foram definidas treze áreas amostrais (Figura 4.11). Estas áreas foram diretamente relacionadas as classes fitofisionômicas apresentadas por Henriques et al. (1986), e são assim correspondentes:

1) Formações Florestais;

a) Mata de Restinga - amostras nº 7, 8 e 9.

b) Mata Paludosa - amostras nº 11 e 12.

2) Formações Arbustivas;

a) Clusia - amostras nº 1 e 2 (Clusia "Clara", Seção 4.5.1).
amostras nº 5 e 13 (Clusia "Escura", Seção 4.5.1).

b) Ericacea - amostras nº 6 e 10.

3) Formação Herbácea;

a) Graminóide arbustiva - amostras nº 3 e 4.

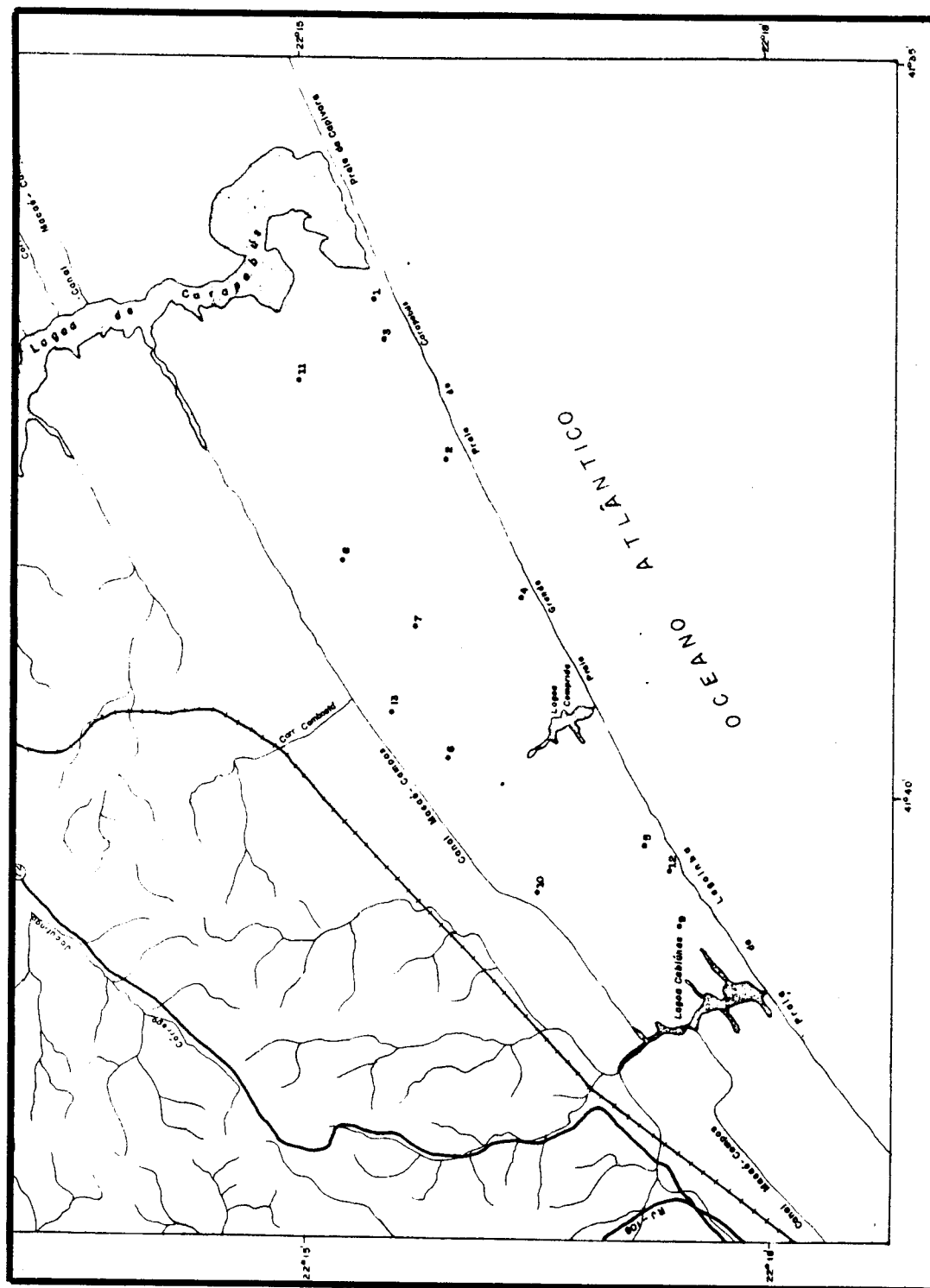


Fig. 4,11 - Posicionamento das amostras analisadas no primeiro trabalho de campo.

Dentre os resultados obtidos, a partir da análise visual dos produtos gerados (composições coloridas e classificações digitais não supervisionadas), já era previsto que algumas alterações na classificação fitofisionômica, da Restinga de Carapebús, apresentada por Henriques et al. (1986), deveriam ser efetuadas.

A partir do trabalho de campo foi observado que algumas formações vegetais apresentaram-se em condições distintas daquelas apresentadas por Henriques et al. (1986); em decorrência, provavelmente, do intervalo de tempo decorrido entre os levantamentos. Estes autores basearam-se na análise visual de fotografias aéreas datadas de 1966, associada a trabalhos de campo realizados entre os anos de 1978 e 1982. A restinga compõe um ambiente caracteristicamente dinâmico, especialmente em função das influências marinhas, continentais e antrópicas a que está sujeita. O presente trabalho baseou-se em imagens multiespectrais, datadas de 1988, e em trabalhos de campo realizados no ano de 1989, resultando em informações mais atualizadas.

Dentre as mudanças nas formações vegetais, são destacadas:

- 1) A coexistência de duas classes fitofisionômicas distintas, dentre aquela anteriormente denominada "Formação de Clusia". Esta distinção de feições baseia-se fundamentalmente nos diferentes graus de antropismo existentes nas áreas, que determinam características fitofisionômicas distintas entre si.
- 2) A Formação de "Mata Paludosa" é praticamente inexistente na área. A partir dos processos de colmatação, esta formação foi substituída pela então denominada "Mata Seca". As Matas Paludosas, na área de estudo, correspondem a estreitas faixas ao longo de pequenos trechos de córregos e do canal Macaê-Campos.
- 3) Uma Formação Brejosa ocupa a maior parte da então mapeada, por Henriques et al. (1986), como "Mata Paludosa" na área de estudo.

- 4) A Formação "Graminóide Arbustiva" apresenta-se basicamente gramínea, sem a presença de arbustos.
- 5) A ação antrópica na área estende-se a todas as formações vegetais. Baseiam-se nas atividades agrícolas, desmatamentos, queimadas e pastoreio.

Informações mais detalhadas, obtidas a partir deste trabalho de campo, são apresentadas na Seção 4.11.

4.7 - CLASSIFICAÇÃO DIGITAL SUPERVISIONADA

A aplicação do algoritmo Maxver, baseado em áreas amostrais obtidas a partir dos centros de classes, apresentados pelas classificações digitais não supervisionadas (K-Médias), checadas no campo; considerou apenas doze entre as treze áreas amostrais.

A amostra checada no campo e rejeitada para efeitos de treinamento, na classificação digital supervisionada, foi a de nº 11. Esta exclusão foi determinada pela heterogeneidade da amostra. Uma vez que esta área correspondia a uma reduzida mancha de "Mata Seca" dentro uma Formação Brejosa. E na análise digital de amostras efetuada, esta apresentou-se com elevado índice de confusão com relação a outras formações vegetais; em especial, com a Formação "Graminóide".

As amostras fornecidas para treinamento referentes a "Mata" abrangeram as áreas de: "Mata de Restinga" e/ou "Mata Seca", checadadas no campo. Este agrupamento baseou-se no fato de que, as características fitofisionômicas e os ambientes físicos de ambas as formações, são muito semelhantes entre si.

As imagens classificadas a partir da aplicação do algoritmo Maxver aos subconjuntos de: bandas TM 1-2-3-4-5-7, imagens componentes principais (CP1-CP2-CP3) obtidas do subconjunto TM 1-2-3-4-5-7 e imagens razão TM2/TM4-TM3/TM4-TM3/TM5-TM7/TM2, são respectivamente apresentadas nas Figuras 4.12, 4.13 e 4.14.

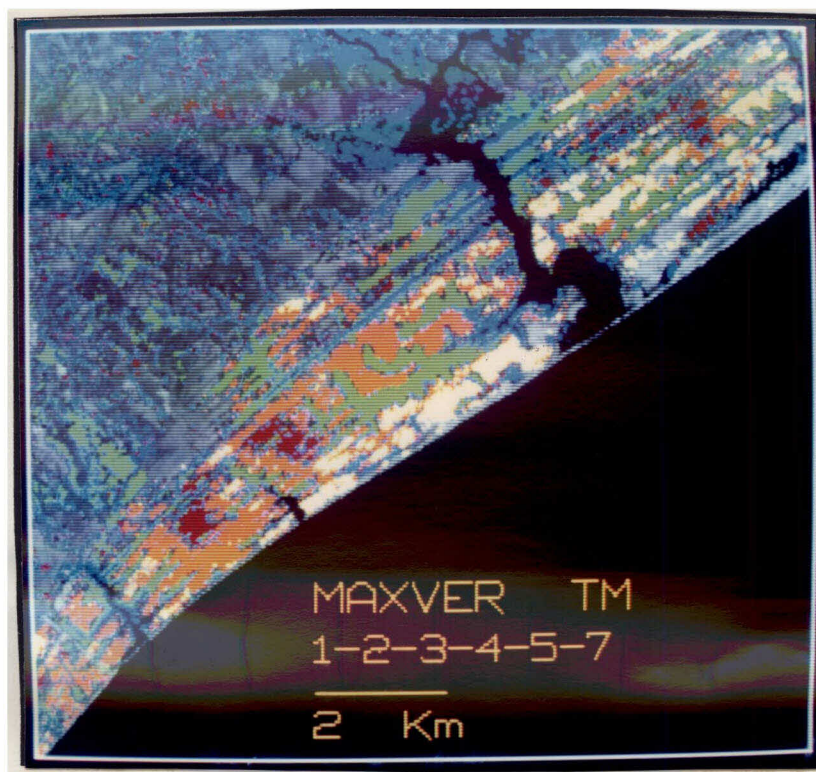


Fig. 4.12 - Imagem classificada digitalmente a partir da aplicação do algoritmo Maxver ao subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7.

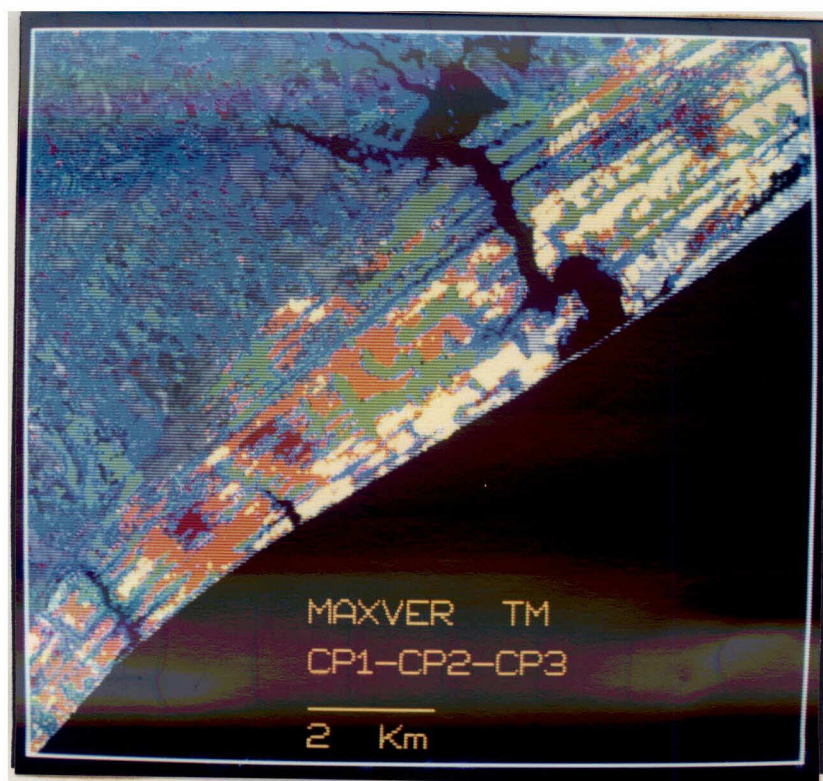


Fig. 4.13 - Imagem classificada digitalmente a partir da aplicação do algoritmo Maxver ao subconjunto de imagens componentes principais (CP1-CP2-CP3), obtido das bandas TM 1-2-3-4-5-7.

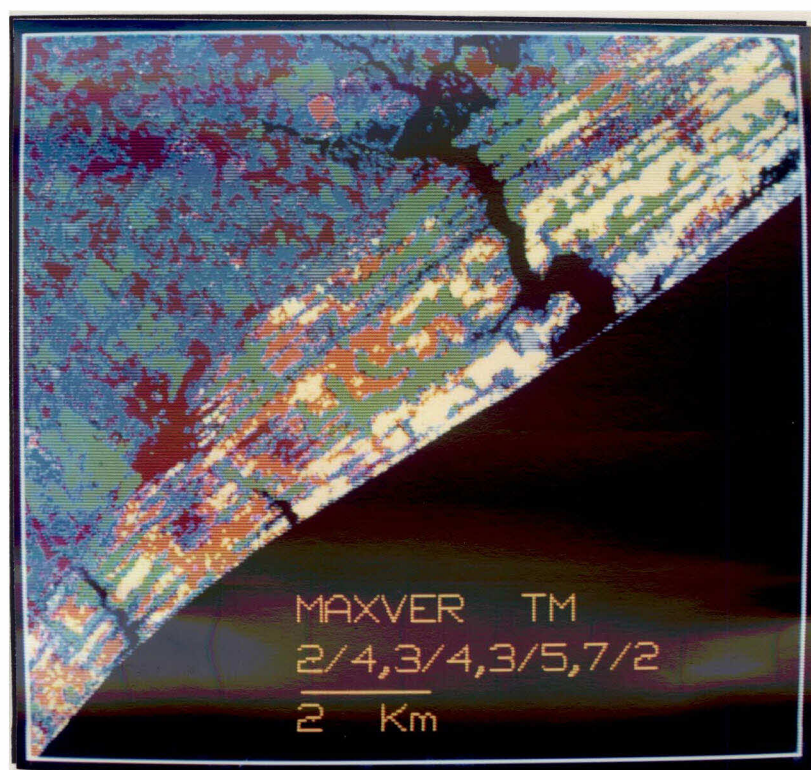


Fig. 4.14 - Imagem classificada digitalmente a partir da aplicação do algoritmo Maxver ao subconjunto de imagens razão: TM2/TM4, TM3/TM4, TM3/TM5 e TM7/TM2.

4.8 - ANÁLISE DOS PRODUTOS GERADOS

A fotointerpretação das composições coloridas e a fotanálise das imagens classificadas digitalmente a partir do algoritmo Maxver, permitiram a avaliação dos resultados apresentados, tomando como base as informações obtidas no campo.

4.8.1 - FOTOINTERPRETAÇÃO DAS COMPOSIÇÕES COLORIDAS

Considerando os parâmetros referentes ao potencial de detecção e discriminação das feições de interesse, foram obtidos os resultados apresentados nas Tabelas 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 e 4.7. Nestas tabelas são registradas as seguintes simbologias:

a) Sistema Aditivo de Cores (RGB)

R (Red) - Vermelho

G (Green) - Verde

B (Blue) - Azul

b) Sensor

TM - "Thematic Mapper" - LANDSAT 5

c) Técnicas de Realce

IHS - Transformação por IHS

CP - Transformação por Componentes Principais

d) Formações Vegetais

MR - Mata de Restinga

MP - Mata Paludosa

MS - Mata "Seca"

CLC - Clusia "Clara"

CLE - Clusia "Escura"

ERI - Ericacea

GRA - Graminóide

BRE - Brejosa

PGR - Praia Graminóide

PPR - Pós-Praia

e) Avaliação do Potencial

(+) - Formação Detectada/Discriminada

(±) - Formação Detectada/Discriminada em Alguns Pontos

(-) - Formação Não Detectada/Discriminada

Em nenhuma das composições coloridas analisadas foi possível a detecção das Formações de: Mata Paludosa, Mata "Seca", Praia Graminóide e Pós-Praia. Isto sugere que, além das áreas abrangidas por estas formações serem incompatíveis com a resolução espacial do Sensor TM (30 x 30 metros), o comportamento espectral destas formações não apresenta contrastes acentuados com relação ao comportamento dos demais alvos adjacentes.

Dentre as composições coloridas formadas, a partir das bandas espectrais e imagens realçadas, aquelas que apresentaram melhor discriminação entre as formações foram as geradas a partir da Transformação por IHS e Transformação por Decorrelação de Bandas Espectrais. Estas técnicas de realce, foram aplicadas às mesmas bandas espectrais (TM3-TM4-TM5) e atuam rotacionando os eixos de distribuição dos dados relativos as imagens. Elas promovem o realce de feições, permitindo que a partir da análise visual seja feita uma associação direta entre a resposta espectral e as características do alvo apresentadas no campo, segundo Gillespie et al. (1986). Ambas as técnicas atuaram realçando as feições e facilitando a análise visual das composições coloridas.

4.8.1.1 - COMPOSIÇÃO COLORIDA OBTIDA A PARTIR DAS BANDAS ESPECTRAIS DO SENSOR TM

A composição colorida formada pelas bandas espectrais 3B-4R-5G, do Sensor TM, realçadas a partir da técnica de Ampliação Linear de Contraste, apresentou algumas limitações na discriminação entre as formações vegetais detectadas.

TABELA 4.3 - POTENCIAL DE DETECÇÃO E DISCRIMINAÇÃO DE FORMAÇÕES VEGETAIS
A PARTIR DA COMPOSIÇÃO COLORIDA FORMADA PELAS BANDAS ES
PECTRAIS TM 3 - 4 - 5

COMPOSIÇÃO COLORIDA TM 3B-4R-5G												
Avaliação do Potencial de Formação	DETECÇÃO	PADRÃO ESPECTRAL	DISCRIMINAÇÃO									
			MR	MP	MS	CLC	CLE	ERI	GRA	BRE	PGR	PPR
MR	+	vermelho		-	-	+	+	+	+	+	-	-
MP	-	ñ observável			-	-	-	-	-	-	-	-
MS	-	ñ observável				-	-	-	-	-	-	-
CLC	+	cinza					-	+	+	+	-	-
CLE	+	cinza						+	+	+	-	-
ERI	+	verde e vermelho							+	+	-	-
GRA	+	azul, verde e vermelho								+	-	-
BRE	+	azul									-	-
PGR	-	ñ observável										-
PPR	-	ñ observável										

TABELA 4.4 - POTENCIAL DE DETECÇÃO E DISCRIMINAÇÃO DE FORMAÇÕES VEGETAIS
A PARTIR DA COMPOSIÇÃO COLORIDA FORMADA PELAS TRÊS PRIMEIRAS IMAGENS COM
PONENTES PRINCIPAIS, GERADAS DO SUBCONJUNTO DE BANDAS
ESPECTRAIS TM 1 - 2 - 3 - 4 - 5 - 7











COMPOSIÇÃO COLORIDA TM CP1R-CP2B-CP3G													
Avaliação do Potencial à Formação	DETECÇÃO	PADRÃO ESPECTRAL	DISCRIMINAÇÃO										
			MR	MP	MS	CLC	CLE	ERI	GRA	BRE	PGR	PPR	
MR	+	verde		-	-	+	+	±	±	+	-	-	
MP	-	ñ observável		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MS	-	ñ observável			-	-	-	-	-	-	-	-	
CLC	+	laranja				-	+	+	+	-	-		
CLE	+	laranja					+	+	+	-	-		
ERI	+	verde						-	+	-	-		
GRA	+	verde							+	-	-		
BRE	+	azul									-	-	
PGR	-	ñ observável										-	
PPR	-	ñ observável											

TABELA 4.5 - POTENCIAL DE DETECÇÃO E DISCRIMINAÇÃO DE FORMAÇÕES VEGETAIS
A PARTIR DA COMPOSIÇÃO COLORIDA FORMADA PELAS TRÊS IMAGENS DECORRELAÇÃO
GERADAS DO SUBCONJUNTO DE BANDAS ESPECTRAIS TM 3-4-5





















COMPOSIÇÃO COLORIDA DECORRELAÇÃO TM 3B-4G-5R													
Avaliação do Potencial de Formação	DETECÇÃO	PADRÃO ESPECTRAL	DISCRIMINAÇÃO										
			MR	MP	MS	CLC	CLE	ERI	GRA	BRE	PGR	PPR	
MR	+	verde claro		-	-	+	+	+	+	+	-	-	
MP	-	ñ observável		-	-	-	-	-	-	-	-	-	
MS	-	ñ observável			-	-	-	-	-	-	-	-	
CLC	+	cinza claro				±	+	+	+	-	-		
CLE	+	cinza escuro				+	+	+	-	-			
ERI	+	marrom					±	+	-	-			
GRA	+	verde, marrom, azul						+	-	-			
BRE	+	azul							-	-			
PGR	-	ñ observável								-			
PPR	-	ñ observável											

TABELA 4.6 - POTENCIAL DE DETECÇÃO E DISCRIMINAÇÃO DE FORMAÇÕES VEGETAIS
A PARTIR DA COMPOSIÇÃO COLORIDA FORMADA PELAS IMAGENS RA
ZÃO TM3/TM4-TM3/TM5-TM7/TM2

[illegible]

TABELA 4.7 - POTENCIAL DE DETECÇÃO E DISCRIMINAÇÃO DE FORMAÇÕES VEGETAIS
A PARTIR DA COMPOSIÇÃO COLORIDA FORMADA PELAS IMAGENS TM
3 - 4 - 5, REALÇADA POR IHS

COMPOSIÇÃO COLORIDA IHS TM 38-4R-5G												
Avaliação do Potencial de Formação	DETECÇÃO	PADRÃO ESPECTRAL	DISCRIMINAÇÃO									
			MR	MP	MS	CLC	CLE	ERI	GRA	BRE	PGR	PPR
MR	+	vermelho		-	-	+	+	+	+	+	-	-
MP	-	ñ observável		-	-	-	-	-	-	-	-	-
MS	-	ñ observável			-	-	-	-	-	-	-	-
CLC	+	branco				+	+	+	+	-	-	
CLE	+	cinza					+	+	+	-	-	
ERI	+	verde, vermelho						+	+	-	-	
GRA	+	verde, vermelho, cinza escuro							+	-	-	
BRE	+	azul								-	-	
PGR	-	ñ observável									-	
PPR	-	ñ observável										

Esta composição colorida não se apresentou muito eficiente para promover a boa discriminação entre as seguintes classes fisionômicas (dentre as detectadas);

a) Clusia "Clara" - Clusia "Escura"

b) Ericacea - Graminóide

c) Graminóide - Brejosa

Estas formações, se consideradas cada par individualmente, apresentam diversas características semelhantes entre si, tanto do ponto de vista da fisionomia da vegetação, quanto com relação ao meio físico. Desta forma, as variações espectrais apresentadas entre as formações acima destacadas não apresentam-se muito acentuadas.

As bandas espectrais (TM 3 - 4 - 5) utilizadas para a análise, além de terem sido identificadas através da técnica de Seleção de Atributos como as mais apropriadas ao estudo proposto (Seção 4.2), apresentam-se distribuídas no espectro eletromagnético entre diferentes regiões do comportamento espectral da vegetação. Considerando que as variações apresentadas na fisionomia e no ambiente físico das formações vegetais da área concentram-se entre diferentes adensamentos da cobertura e variações no conteúdo da umidade, é reafirmada a potencialidade destas bandas ao estudo proposto.

As bandas espectrais TM 3 e 4, localizadas, respectivamente, nas regiões de alta absorção promovida pelos pigmentos presentes na folha e alta reflectância resultante da estrutura interna da folha, mostram dados correlacionados com as variações da cobertura vegetal. Enquanto que a banda TM5 apresenta-se apropriada a discriminação entre variações de conteúdo de umidade do solo, de acordo com Santos (1988).

A técnica de realce de Ampliação Linear de Contraste aplicada ao subconjunto selecionado de bandas espectrais, atuou redistribuindo os dados de forma uniforme e mais adequada possível a melhor visuali

zação no monitor de TV utilizado. Por outro lado, a seleção de cores atribuída as bandas, resultou da melhor combinação identificada entre as possíveis.

Portanto, se os resultados de discriminação entre feições de interesse não se apresentaram muito satisfatórios, pode-se concluir que as técnicas de realce aplicadas às bandas espectrais TM 3-4-5 não se mostraram suficientes para destacar visualmente as sutis diferenças resultantes das variações existentes entre as formações em questão.

4.8.1.2 - COMPOSIÇÃO COLORIDA OBTIDA A PARTIR DE IMAGENS COMPONENTES PRINCIPAIS

A composição colorida formada a partir das três primeiras imagens componentes principais, obtidas do subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7, não apresentou bons resultados com vistas à discriminação entre as feições detectadas. Basicamente, foram atribuídas apenas três diferentes tonalidades à imagem, tornando necessário, para a identificação das feições de interesse, o uso de outros parâmetros (tais como forma, padrão e posição geográfica) relacionados com elementos de fotointerpretação.

Analisando a Figura 4.2, destaca-se a maior participação das bandas TM5, TM1 e TM3 na formação das duas primeiras imagens componentes principais, e das bandas TM4, TM3 e TM1 na formação da terceira imagem componente principal. Considerando que a transformação aplicada baseou-se em amostras localizadas unicamente dentre as feições de interesse, a elevada participação das bandas TM5, TM4, TM1 e TM3, na formação das imagens componentes principais, deve-se fundamentalmente as características apresentadas pela área de estudo.

As bandas TM3, TM4 e TM5 apresentam-se bastante relacionadas com as características de interesse na cena (Seção 4.8.1.1). A banda espectral TM1 exibe elevado potencial à discriminação entre solo e vegetação, conforme Santos (1988); e esta é uma das características que determinam a diferenciação entre as Formações de Clusia "Clara" da Clusia "Escura".

A banda TM1 apresenta alta correlação de dados com as bandas TM2, TM3, TM5 e TM7, como pode ser observado na Tabela B.2. A forte participação da banda TM1 na formação das três primeiras imagens componentes principais, bem como a semelhança na ordenação das bandas espectrais que apresentaram maior contribuição para a formação das duas primeiras imagens componentes, atuaram reduzindo a qualidade do contraste das feições na composição colorida formada pelas imagens componentes.

Nesta composição colorida, a impossibilidade de discriminação entre as feições detectadas se concentrou entre as Formações:

a) Clusia "Clara" - Clusia "Escura"

b) Ericacea - Graminóide

Dentre as Formações que apresentaram limitações à discriminação, destacam-se:

a) Mata de Restinga - Ericacea

b) Mata de Restinga - Graminóide

4.8.1.3 - COMPOSIÇÃO COLORIDA OBTIDA A PARTIR DE IMAGENS DECORRELACIONADAS

A composição colorida formada a partir das bandas espectrais TM 3(azul) - 4(verde) - 5(vermelho), submetidas à técnica de realce por Decorrelação de Bandas, apresentou resultados consideravelmente bons com relação a discriminação entre as formações detectadas.

A aplicação desta técnica de realce limitada às bandas espectrais TM3, TM4 e TM5 evitou a redundância de dados apresentada pelas bandas TM1, TM2 e TM7. Além disto, atuou reduzindo os efeitos atmosféricos sobre os dados, uma vez que a atmosfera atua preponderantemente sobre as bandas espectrais localizadas na região visível do espectro ele

tromagnético (bandas TM1, TM2 e TM3). A associação destes fatos determinou a obtenção dos bons contrastes resultantes entre as feições de interesse, na composição colorida formada pelas imagens decorrelacionadas.

Meneses (1986) destaca a obtenção de melhores resultados, após a Transformação por Componentes Principais, a partir de um menor número de bandas espectrais, consideravelmente menos relacionadas entre si. Considerando que a técnica de Decorrelação de Bandas Espectrais é realizada tendo como princípio a Transformação por Componentes Principais, os resultados ora obtidos podem ser justificados.

O algoritmo responsável pela aplicação da técnica de Transformação por Decorrelação de Bandas Espectrais, implementado no SITIM, não apresenta muita interação com o usuário. Desta forma, os resultados obtidos não permitem muitas avaliações; apesar da boa qualidade.

Esta transformação permitiu, além de acentuar os contrastes entre as feições de interesse, a restauração das relações existentes entre os alvos e seus comportamentos espectrais nas imagens criadas; facilitando as inferências na análise visual, conforme é destacado por Kahle et al, (1980).

As Formações vegetais que apresentaram algumas limitações à discriminação, foram:

a) Clusia "Clara" - Clusia "Escura"

b) Ericacea - Graminóide

4.8.1.4 - COMPOSIÇÃO COLORIDA OBTIDA A PARTIR DE IMAGENS RAZÃO

A composição colorida formada a partir das imagens razão TM3/TM4 (verde) - TM3/TM5 (azul) - TM7/TM2 (vermelho) não apresentou resultados muito favoráveis à discriminação entre as formações detectadas. Apesar da técnica de Razão de Bandas atuar realçando sutis diferenças espectrais entre feições, conforme Roy (1987), sua aplicação em associação

com a técnica de Ampliação Linear de Contraste e a técnica de Geração de Composição Colorida, não permitiu a discriminação entre as Formações de;

a) Clusia "Clara" - Clusia "escura"

b) Ericacea - Graminóide

A imagem razão TM7/TM2 atuou realçando as variações na ce na que foram determinadas pela presença de solo exposto ou de cobertura vegetal. Uma vez que o comportamento espectral do solo arenoso (característico da área) apresenta-se com elevada reflectância na região correspondente à banda TM7 e, comparativamente, baixa reflectância na banda TM2; portanto, na imagem TM7/TM2 este solo é representado por uma tonalidade clara. Enquanto que, a vegetação apresenta tonalidade escura na imagem TM7/TM2, em decorrência da baixa reflectância apresentada por este alvo nas regiões correspondentes às bandas TM7 e TM2.

Satherwhite e Henley (1987) e Plummer (1988) destacam o realce, promovido pelas bandas TM4/TM3 e TM2/TM7, de nuanças no alvo vegetação. Enquanto que Musick e Pelletier (1986) apresentam a imagem razão TM2/TM7 como indicada aos estudos referentes ao conteúdo de umidade do solo. Porém, a partir da utilização dos dados provenientes das imagens TM3/TM4 e TM7/TM2, no presente trabalho, o realce destas feições apresentou-se consideravelmente discreto; provavelmente em função da complexidade das condicionantes ambientais que as caracterizam.

A imagem razão TM3/TM5 favoreceu principalmente o realce dos diferentes níveis de umidade do solo, reafirmando observações de Musick e Pelletier (1986). Esta imagem na composição colorida, atuou favorecendo o realce das Formações:

a) Mata

b) Clusia

c) Brejosa

d) Graminóide - Ericacea

4.8.1.5 - COMPOSIÇÃO COLORIDA OBTIDA A PARTIR DA TRANSFORMAÇÃO POR IHS

A composição colorida formada a partir das bandas espectrais TM 3(azul) - 4(vermelho) - 5(verde), realçadas através da decomposição de suas componentes I-H-S, apresentou resultados consideravelmente bons com relação a discriminação entre as formações detectadas. Apenas as Formações Clusia "Clara" - Clusia "Escura" e Ericacea - Graminóide apresentaram algumas limitações à discriminação, dentre aquelas detectadas no produto ora analisado.

Os resultados apresentados, por esta composição colorida, muito se assemelharam aqueles obtidos a partir da Transformação por De correlação de Bandas Espectrais (Seção 4.8.1.3).

A Transformação por IHS atuou manipulando as componentes que determinam a intensidade, a matiz e a saturação da imagem, de forma a resgatar as características visuais reais da cena, favorecendo a interpretação dos fenômenos envolvidos.

Esta técnica foi aplicada as bandas espectrais TM 3-4-5 que, como pode ser observado na Seção 4.8.1.1, apresentam elevada potencialidade ao registro das nuances presentes no alvo vegetação.

A partir da reconstituição da cena promovida pela Transformação IHS, foram ressaltadas diferenças sutis entre alvos que apresentam comportamento espectral semelhantes. Dentre eles, destaca-se a diferenciação entre as Formações Graminóide e Brejosa que, na composição colorida formada pelas bandas TM 3(azul) - 4(vermelho) - 5(verde), apresentou algumas limitações (Seção 4.8.1.1).

Com os resultados alcançados, foram confirmadas as observações de Correia et al. (1990). Uma vez que, comparando duas composições coloridas, formadas pelas mesmas bandas espectrais e associação de cores,

porém, uma realçada por IHS e outra sem ser submetida a transformação; a que apresentou melhor qualidade visual foi aquela submetida a decomposição das componentes I-H-S,

4.8.2 - FOTOANÁLISE DAS CLASSIFICAÇÕES DIGITAIS SUPERVISIONADAS (MAXVER)

Na análise visual das três classificações realizadas (a partir das bandas TM, imagens componentes principais e imagens razão) foi feita a seguinte associação de cores às classes espectrais: verde - Mata; amarelo - Clusia "Clara"; laranja - Clusia "Escura"; vermelho - Ericacea; azul - Graminóide e Brejosa; preto e cinza - não classificado; com o objetivo de uniformizar a representação das cores nas imagens classificadas digitalmente, bem como facilitar uma comparação entre os diferentes produtos gerados.

4.8.2.1 - ANÁLISE GERAL

Dentre as formações vegetais detectadas na área de estudo, todas foram visualizadas a partir da aplicação do algoritmo de classificação digital supervisionada - Maxver.

Aquelas formações que se apresentaram com limitações à discriminação, a partir das composições coloridas (em especial, as Formações de Clusia "Clara" - Clusia "Escura" e Ericacea - Graminóide), são facilmente destacadas nas imagens classificadas digitalmente.

As classificações Maxver, realizadas a partir dos subconjuntos de: bandas espectrais TM (1-2-3-4-5-7), três primeiras imagens componentes principais (obtidas do subconjunto de bandas TM 1-2-3-4-5-7) e quarteto de imagens razão (TM2/TM4-TM3/TM4-TM3/TM5-TM7/TM2), foram avaliadas a partir da análise das matrizes de classificação de amostras (Tabela B.6). Os resultados apresentados pelas referidas matrizes foram analisados (Tabela 4.8) a partir do critério de avaliação de classificação adotado por Yool et al. (1986).

TABELA 4.8 - ANÁLISE DO DESEMPENHO DE CLASSIFICAÇÃO MAXVER DAS AMOSTRAS DE CLASSES DE VEGETAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO CLASSES	SUBCONJUNTOS SELECIONADOS		
	BANDAS TM	IMAGENS COM PON. PRINC	IMAGENS RAZÃO
MATA	* * *	* * *	* * *
CLUSIA CLARA	* * *	* * *	* * *
CLUSIA ESCURA	* * *	* * *	* * *
ERICACEA	* * *	* * *	* * *
GRAMINÓIDE	* * *	* *	*
DESEMPENHO MÉDIO	* * *	* * *	* * *

- menor do que 25% = Fraco (●)
- entre 26 e 50% = Razoável (*)
- entre 51 e 75% = Bom (**)
- maior do que 75% = Ótimo (***)

A partir da análise dos dados apresentados pelas Tabelas 4,8 e B,6, pode-se observar que:

- 1) As três classificações digitais supervisionadas (a partir de bandas TM, imagens componentes principais e imagens razão) apresentaram o desempenho médio de classificação das amostras considerado ótimo. Porém, considerando as classes de vegetação individualmente, a Formação Graminóide exibiu os menores índices de precisão na classificação de suas amostras, comparativamente as demais classes. Estes índices apresentaram-se em uma escala notadamente decrescente a partir das bandas TM, às imagens componentes principais e, finalizando, com as imagens razão.

- 2) As amostras correspondentes a Formação Graminóide apresentaram a maior confusão de classificação com relação a Formação de Erica cea,

Considerando que os resultados de classificação alcançados foram satisfatórios, pode-se determinar que o treinamento realizado para o classificador apresentou-se bem adequado. Uma vez que, o algoritmo Maxver fundamenta-se nas características paramétricas das amostras, para assumir as funções de densidade de probabilidade (FDP) de cada classe espectral, segundo Ince (1987).

4.8.2.2 - CLASSIFICAÇÃO MAXVER DE BANDAS TM

A análise visual da imagem classificada digitalmente, a partir da aplicação do algoritmo Maxver às bandas do espectro refletido do Sensor TM, permitiu o destaque das classes espectrais correspondentes a todas as formações de interesse na área de estudo, com exceção das Formações Graminóide e Brejosa. Estas formações foram agrupadas em uma única classe, fundamentalmente, em função de não se ter apresentado amostras, na fase de treinamento, referentes a classe espectral de Formação Brejosa,

As Formações Brejosa e Graminóide muito se assemelham no campo, e na análise da matriz de classificação de amostras (realizada preliminarmente com o intuito de avaliar suas características espectrais) a amostra correspondente a Formação Brejosa (nº 11) apresentou baixo desempenho e elevada confusão na classificação, em especial com relação à classe espectral de Formação Graminóide. Desta forma, a citada amostra foi excluída (Seção 4.7). Esta confusão de classificação ocorre com certa frequência, segundo Satherwhite et al. (1984), uma vez que comunidades vegetais distintas que apresentem comportamento espectral semelhante entre si são por vezes reunidas em uma só classe espectral a partir da classificação digital.

Esta classificação digital supervisionada apresentou-se muito boa aos interesses do trabalho. As classes espectrais definidas permitiram a discriminação das formações vegetais de interesse que por vezes foram de difícil visualização nas composições coloridas analisadas anteriormente.

As classes espectrais correspondentes as Formações de Ericacea e Graminóide apresentaram-se distintas entre si. Enquanto que, nas composições coloridas formadas e analisadas (Seção 4.8.1) a discriminação entre estas formações mostrou-se muito difícil, por vezes impossível. As Formações de Clusia "Clara" e Clusia "Escura" também foram diferenciadas entre si nesta classificação digital, caracterizando a diferença espectral apresentada entre ambas.

A utilização das seis bandas do espectro refletido do Sensor TM auxiliou na definição do comportamento espectral das classes amostradas. Desta forma, ainda que o tempo computacional da classificação tenha aumentado em função direta ao número de bandas envolvido, segundo Belward e Hoyos (1987), a aplicação deste algoritmo às bandas TM 1-2-3-4-5-7 apresentou resultados que validaram o consumo de tempo empregado para a classificação.

Considerando os bons resultados alcançados, pode-se concluir que o comportamento espectral das formações vegetais presentes na área de estudo é aproximado a distribuição gaussiana, uma vez que, este classificador (Maxver) se utiliza deste princípio para determinação das classes espectrais.

4.8.2.3 - CLASSIFICAÇÃO MAXVER DE IMAGENS COMPONENTES PRINCIPAIS

Esta classificação muito se assemelha àquela apresentada a partir das bandas originais do Sensor TM, fato que Lacaze e Jofre (1987) parcialmente observaram ao comparar uma classificação realizada a partir de bandas do Sensor TM com outra feita com as três primeiras imagens componentes principais, com fins à caracterização fitofisionômica.

As maiores diferenças observadas entre as classificações, ora analisadas, ocorreram com relação às Formações de Clusia ("Clara" e "Escura") e Ericacea.

Nesta classificação, a classe espectral referente a Formação de Clusia "Escura" apresentou-se com maiores intrusões de Clusia "Clara". Enquanto que, a Formação de Ericacea, caracteristicamente complexa, foi classificada aqui como duas classes espectrais distintas. Estes resultados traduzem melhor a real situação da Formação de Clusia "Escura" observada no campo, ao mesmo tempo em que promove uma certa confusão na interpretação da classe espectral referente a Formação de Ericacea.

Portanto, as imagens componentes principais favoreceram a discriminação das variações espectrais que ocorrem na classe correspondente a Clusia "Escura", que no caso referem-se a áreas cujo o desenvolvimento da ação antrópica encontra-se em curso. Este destaque deve-se a considerável participação das bandas espectrais TM5, TM4 e TM1 na formação das três primeiras imagens componentes. Uma vez que, as bandas TM4 e TM5 traduzem a diversidade de formações vegetais presentes na cena, segundo Lacaze e Jofre (1987), enquanto que, a banda TM1 atua favorecendo a discriminação entre solo exposto e cobertura vegetal, segundo Santos (1988). Estas características são fundamentalmente as que determinam as diferenças entre as Formações de Clusia "Clara" e Clusia "Escura" no campo. Registradas nas primeiras imagens componentes, estas características determinaram o comportamento das funções de densidade de probabilidade (FDP) das classes espectrais de interesse assumidas pelo classificador.

4.8.2.4 - CLASSIFICAÇÃO MAXVER DE IMAGENS RAZÃO

Esta classificação não apresentou resultados muito compatíveis com a verdade de campo, exibindo um mal dimensionamento das classes espectrais. Dentre elas, a Formação de Clusia "Clara" é representada diluída em inúmeros pontos em meio a classe espectral de Clusia "Escura", resultando em um superdimensionamento de uma classe em detrimento da outra. A Formação de Ericacea muito se assemelha a Graminóide, uma vez que ambas são representadas por duas classes espectrais que se entremeiam

Estes resultados são referendados por Wu et al, (1985), que atribuem a redução da precisão da classificação digital, a partir do algoritmo Maxver, ao caráter de não normalidade da distribuição dos dados a serem classificados, uma vez que este classificador assume uma distribuição normal dos dados de entrada. Porém, em função das operações matemáticas realizadas para a formação das imagens razão (divisão de bandas) este comportamento da distribuição não acompanha os dados. Justice e Townshend (1982) também apresentaram menores precisões na classificação dos dados de imagens razão, quando comparados aos dados originais.

4.9 - SEGUNDO TRABALHO DE CAMPO

Quatro transeções foram realizadas, dispostas entre as lagoas de Carapebús e Cabiūnas, conforme a localização apresentada na Figura 4.15, com direções de alinhamento entre 320° e 330° , sentido sudeste-noroeste.

4.9.1 - TRANSEÇÃO Nº 1

Caminhando no sentido do mar para o continente, esta transeção apresenta uma sequência de Formações de Clusia e Mata. Sua representação esquemática é apresentada na Figura 4.16.

A Formação de Clusia se adensa nas proximidades das formações florestais. Estas se distribuem ao longo dos córregos que interceptam a lagoa de Cabiūnas em direção praticamente perpendicular.

A primeira formação florestal encontrada é caracteristicamente seca e apresenta em seu interior acelerado processo de desmatamento. Esta ação antrópica se distribui ao longo do córrego que permeia a mata, localizando-se em ambas as margens.

Sequencialmente ao caminhar, a Formação de Clusia "Escura" se desenvolve e se adensa nas proximidades da segunda formação florestal encontrada. Esta mata é caracteristicamente seca e bordejada uma depressão de várzea de extensão reduzida.

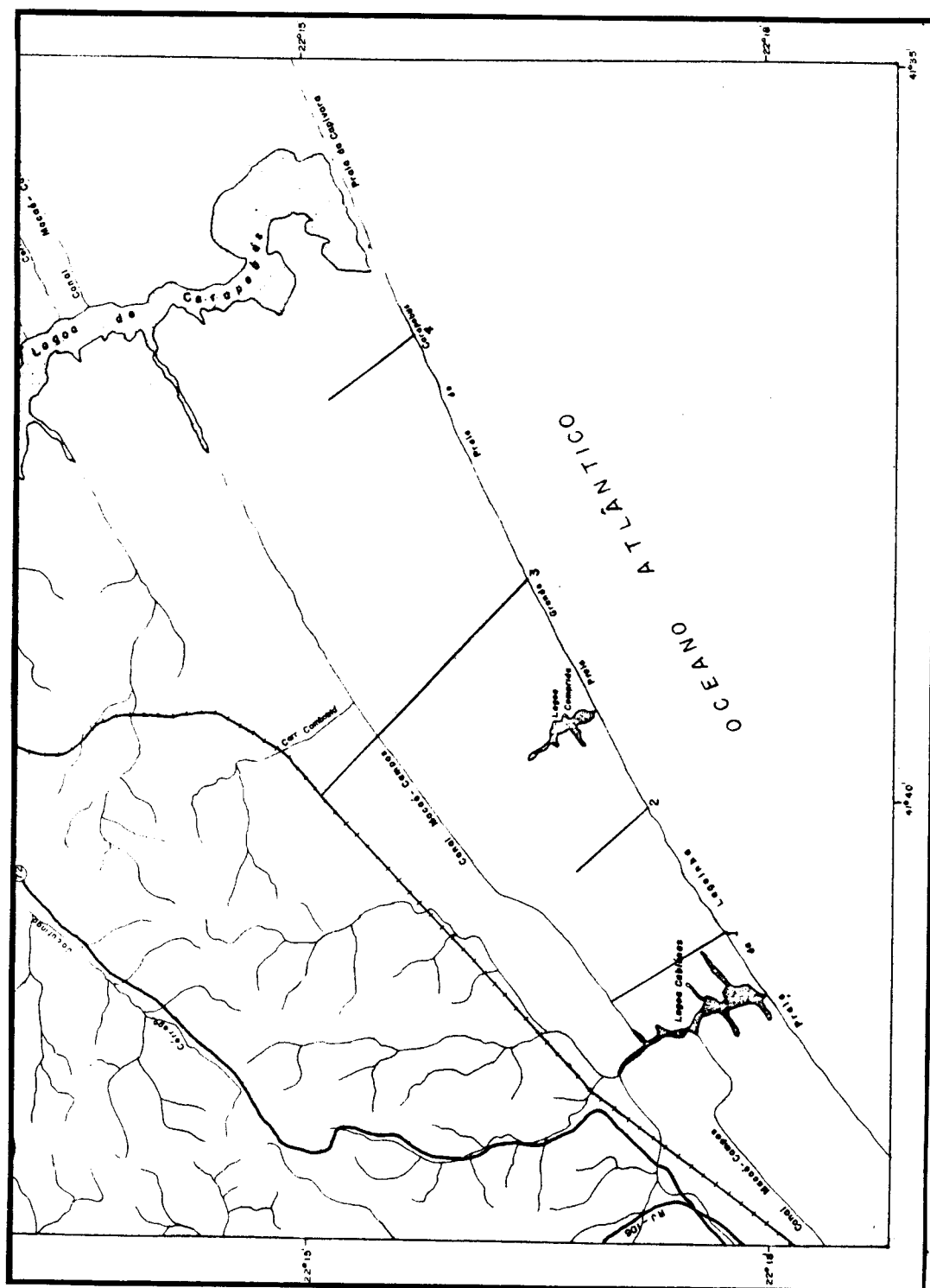


Fig. 4.15 - Posicionamento das tranções realizadas no segundo trabalho de campo.

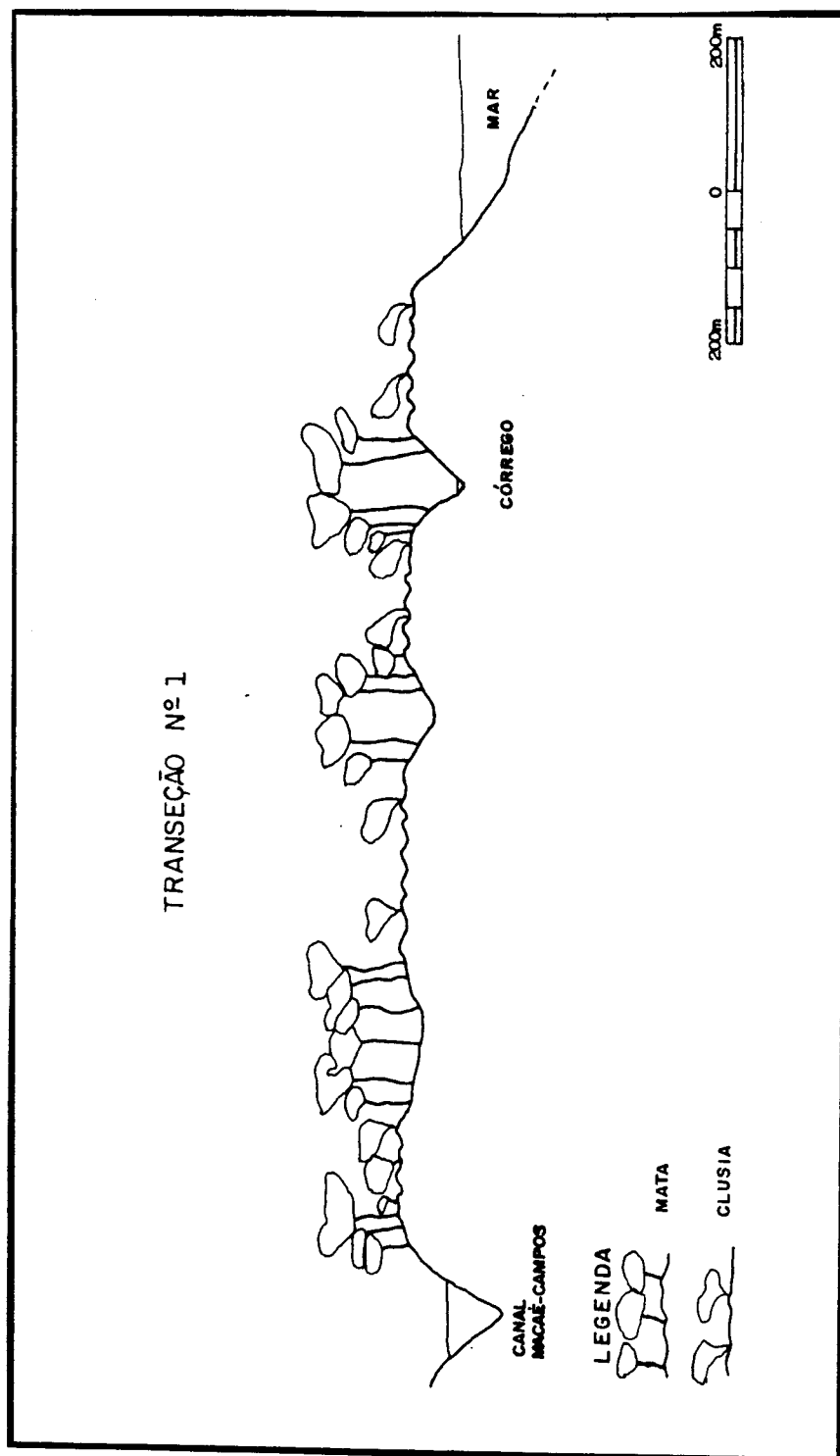


Fig. 4.16 - Perfil esquemático da transeção nº 1.

Uma Formação de Clusia, profundamente alterada, é observada em seguida. Aí são encontrados diversos caminhos de direções variadas, que acessam as duas formações florestais que se avizinham. Estes caminhos provavelmente atuam como acesso para madeireiros às Formações de Mata da área.

Em seguida é observada nova formação florestal, caracteristicamente seca e profundamente alterada pelo corte e retirada de madeira. Uma pequena extensão de Clusia "Escura" intercepta esta formação florestal. Sequencialmente, é encontrada a Mata que bordeja o canal de Macaê-Campos.

4.9.2 - TRANSEÇÃO Nº 2

Esta transeção, representada esquematicamente na Figura 4.17, destaca as Formações de Clusia e Ericacea.

Considerando o sentido do mar para o continente, esta transeção inicia na Formação de Clusia "Escura", que é caracterizada pela presença de indivíduos arbóreos nas suas moitas, além de uma cobertura herbácea entre moitas formada por palmeiras anãs, bromélias, cactáceas e erva.

Uma extensa faixa de transição entre as Formações de Clusia e Ericacea é observada na transeção, dificultando a delimitação precisa do início da Formação de Ericacea. Nesta faixa as moitas se adensam e apresentam agrupamentos de espécies características de ambas as formações (samambaias, bromélias, cactáceas, entre outras) e a cobertura herbácea, o tipo de solo e a umidade do ambiente também se alternam.

A Formação de Ericacea (tipicamente complexa) se estende até o fim da transeção com suas variações características, apresentando em seu interior diversos caminhos e trilhas.

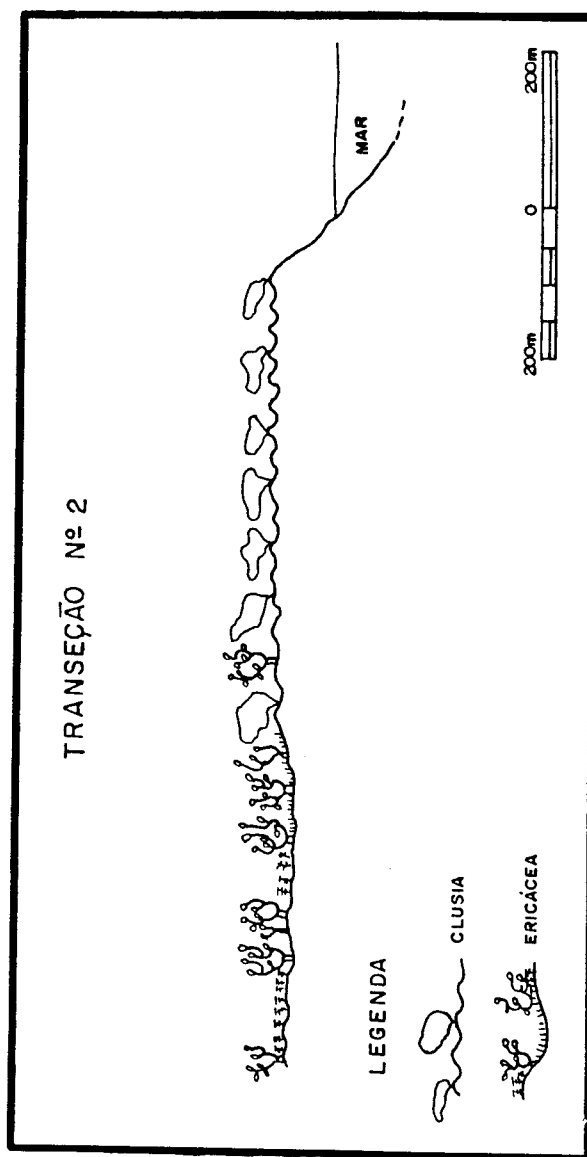


Fig. 4.17 - Perfil esquemático da Transeção Nº 2.

4.9.3 - TRANSEÇÃO Nº 3

Nesta transeção, são observados diversos gradientes de formações vegetais. Sua representação gráfica encontra-se na Figura 4.18.

Caminhando no sentido do mar para o continente são encontradas alternâncias entre as Formações de Clusia e Graminóide. A Clusia, aí é caracterizada pelo antropismo identificado entre a pastagem e a coleta de lenha e carvão. A Graminóide também encontra-se sob a pressão do consumo e do pisoteio do gado.

A primeira formação florestal encontrada neste caminhamento apresenta-se consideravelmente estreita e seu ambiente é marcado pela umidade. Uma pequena faixa de transição entre esta formação e a de Clusia determina o retorno da Formação de Clusia. Sequenciando, outra vez encontra-se uma formação florestal de características semelhantes àquela anteriormente destacada. A Formação de Clusia de estreita extensão que se segue é marcada pela presença de um caminho (que evidencia passagem de veículos pesados) que intercepta transversalmente a transeção.

Uma nova formação florestal é identificada em uma depressão do terreno, sendo sequenciada pela Formação de Clusia que aí se apresenta muito densa ocorrendo numa estreita área e em transição com a Formação de Ericacea.

A transeção intercepta então nova área de Clusia extremamente alterada, onde são encontrados caminhos de veículos e evidências de coleta de lenha. Estas características também estão presentes nas Formações de Mata, Clusia, Mata, Clusia, Mata e Clusia que se distribuem em sequência até a estrada de ferro, onde termina a transeção.

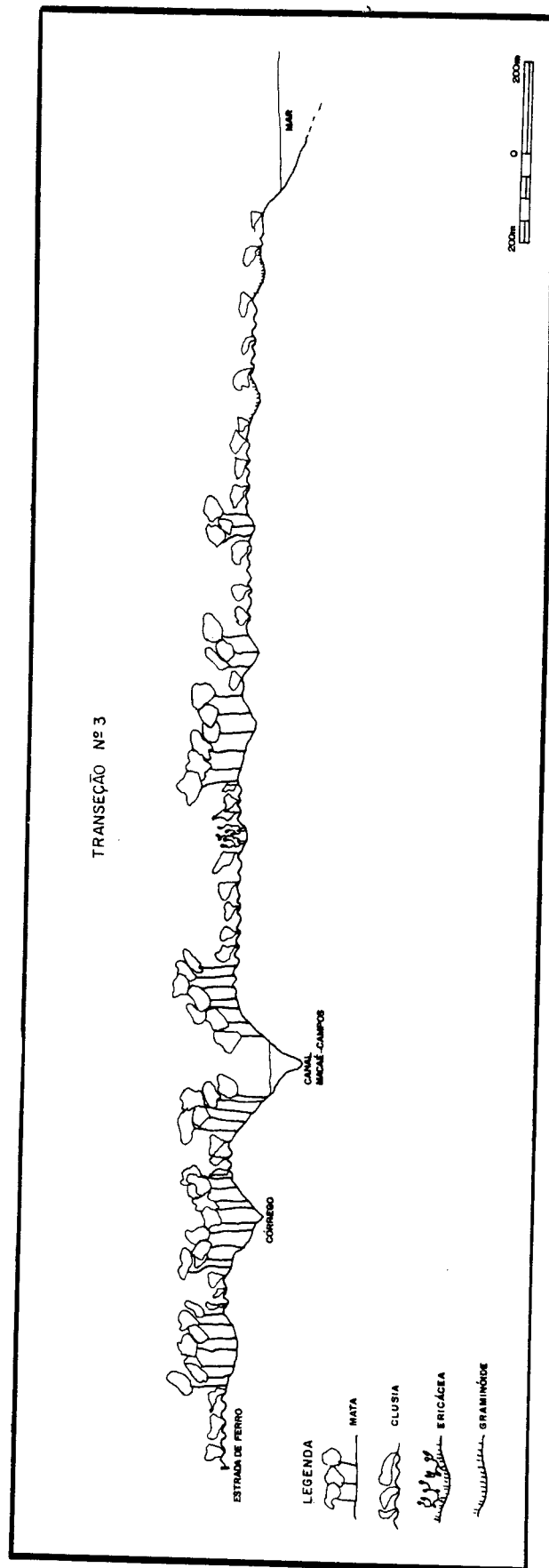


Fig. 4.18 - Perfil esquemático da Transeção Nº 3.

4.9.4 - TRANSEÇÃO Nº 4

Esta transeção é visualizada a partir do perfil esquemático apresentado na Figura 4.19.

Considerando o sentido do caminhar do mar para o continente, esta transeção inicia-se em uma depressão caracterizada pela presença da Formação Graminóide. Esta formação abrange áreas que se alternam entre ambientes secos, úmidos e inundados.

Sequencialmente é evidenciada por um contato abrupto a presença da Formação de Clusia, que se apresenta caracteristicamente alterada pela coleta de lenha, carvão e pelo desenvolvimento da atividade de pastagem. Esta formação se adensa determinando a faixa de transição com a Formação de Mata.

A formação florestal que se segue, desenvolve-se em um terreno de acentuado declive. Nas proximidades do Canal Macaé - Campos esta formação, cujas características evidenciavam uma Mata de Restinga (ou Seca), é substituída pela Mata Paludosa, em terreno inundado. Em contato com o canal é identificada a Formação Brejosa.

4.10 - ANÁLISE CONJUNTA DAS INFORMAÇÕES

As composições coloridas formadas e classificações digitais supervisionadas realizadas apresentaram potencialidades distintas entre si, com relação à detecção e discriminação das feições de interesse, de acordo com o apresentado anteriormente na Seção 4.8.

A partir da análise comparativa dos resultados apresentados pelos produtos gerados, que melhor realçaram ou classificaram as feições de interesse na área, foram selecionados aqueles que melhor representaram as formações vegetais presentes na Restinga de Carapebús.

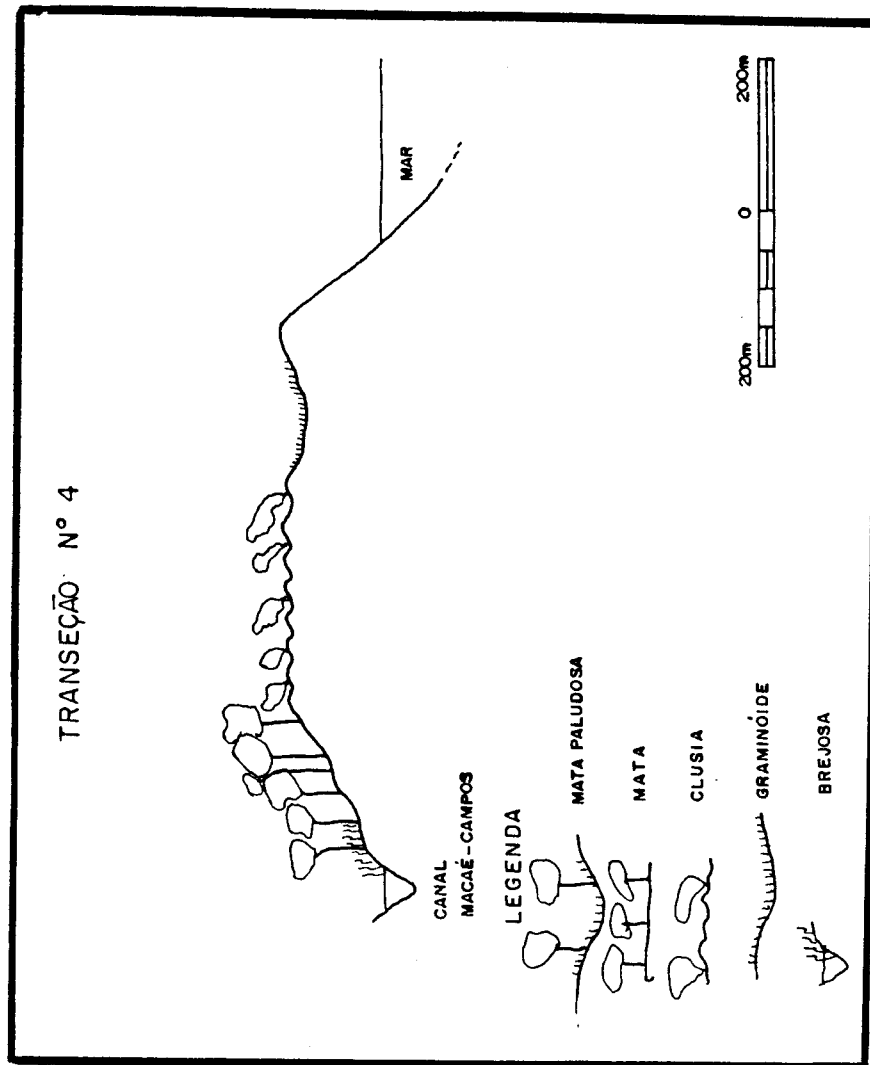


Fig. 4,19 - Perfil esquemático da Transeção Nº 4.

As composições coloridas que melhor realçaram as feições de interesse, promovendo a detecção e discriminação das formações vegetais da área de estudo, foram aquelas formadas pelas bandas espectrais TM 3 - 4 - 5, realçadas por: Transformação por Decorrelação de Bandas e Transformação por IHS. Ambas apresentaram apenas algumas limitações à discriminação das feições de Clusia "Clara" - Clusia "Escura" e Erica - Graminóide. Estas limitações foram determinadas pelo fato de que, em uma análise conjunta de toda a cena, nem sempre as diferenças espectrais existentes entre estas formações permitiram a discriminação visual entre as mesmas.

Dentre as classificações digitais supervisionadas realizadas, a partir da aplicação do algoritmo Maxver, aquelas que apresentaram melhores desempenho de classificação e representação das classes espectrais de interesse foram geradas a partir das bandas TM 1-2-3-4-5-7 e das três primeiras imagens componentes principais obtidas do subconjunto de bandas do Sensor TM localizadas na porção do espectro refletido (bandas 1 a 5 e 7).

Estas classificações apresentaram resultados complementares entre si, podendo-se destacar que: enquanto a classificação digital realizada a partir das bandas originais do Sensor TM permitiu a boa discriminação entre as Formações de Ericacea e Graminóide, a imagem classificada obtida das imagens componentes principais permitiu a discriminação das classes de Clusia "Clara" e Clusia "Escura" com maior correspondência aos dados levantados no campo.

Portanto, considerando os produtos gerados, aqueles que se apresentaram com maior eficiência à detecção e discriminação das feições de interesse foram:

- 1) Composição Colorida obtida a partir das imagens decorrelacionadas
- 2) Composição Colorida obtida a partir da Transformação por IHS

- 3) Classificação Digital Supervisionada de bandas espectrais do Sensor TM
- 4) Classificação Digital Supervisionada de imagens componentes principais

Podem ser destacadas as seguintes observações com referência às formações vegetais detectadas:

- 1) Formação de Mata - Apresentou boa visualização e foi bem discriminada das demais classes e/ou formações vegetais da área.
- 2) Formações de Clusia "Clara" e Clusia "Escura" - Apenas a classificação Maxyer, realizada a partir das três primeiras imagens componentes principais geradas, permitiu a real discriminação entre estas feições.
- 3) Formações Graminóide e Brejosa - Foram bem discriminadas entre si somente nas composições coloridas formadas pelas imagens realçadas através das Transformações por Decorrelação de Bandas e por IHS.
- 4) Formações Ericacea e Graminóide - Somente a partir da classificação Maxyer, realizada com as bandas do espectro refletido do Sensor TM, foi possível a discriminação entre estas feições.

De posse desses resultados, foi gerado o Mapa de Vegetação da Restinga de Carapebús - Macaê (RJ), apresentado no Apêndice C.

4.11 - CARACTERIZAÇÃO FITOFISIONÔMICA

As formações vegetais estudadas no presente trabalho foram subdivididas em função do porte predominante de seus indivíduos: florestais, arbustivos e herbáceos. Aquelas representáveis cartograficamente são apresentadas no Mapa de Vegetação (Apêndice C).

4.11.1 - FORMAÇÕES FLORESTAIS

As áreas amostrais avaliadas no campo (Figura 4.11) basearam-se na caracterização apresentada por Henriques et al. (1986) e nos padrões e classes espectrais identificados no presente trabalho. Os resultados obtidos mostraram-se, porém, com algumas diferenças dos dados apresentados pelos citados autores.

4.11.1.1 - FORMAÇÃO DE MATA DE RESTINGA

Localizada entre os cordões arenosos que se estendem ao longo da restinga, esta formação apresenta-se sobre um microrelevo caracteristicamente mamelonado. O solo arenoso exibe compacidade fraca que é determinada unicamente pelo entrelaçamento das raízes das plantas. O terreno apresenta-se entre úmido e inundável.

Camadas de serrapilheira entre 10 e 20 cm de altura são observadas, além de muitas palmeiras, bromélias e lianas.

Predomina a atividade antrópica de coleta de madeira (Figura 4.20), com corte realizado através de machado, ainda que tenham sido observados desmatamentos mecanizados nas Matas de Restinga mais próximas à lagoa de Carapebús.

O grau de artificialização das áreas amostradas foi considerado entre médio e forte na escala adotada (Apêndice A). Porém, áreas desta formação localizadas às margens da lagoa de Cabiúnas, especialmente mais distantes da orla, sequer foram amostradas, em função da grande artificialização apresentada.

Os valores obtidos, referentes as características fitofisiológicas da Mata de Restinga, adquiridas a partir da aplicação do Método dos Quadrantes nas áreas amostrais de nº 7, 8 e 9 (Figura 4.11), são apresentados na Tabela 4.9.



Fig. 4.20 - Aspecto geral do desmatamento na Formação de Mata de Restinga - área amostral nº 9.

TABELA 4.9 - DADOS REFERENTES ÀS CARACTERÍSTICAS DA MATA DE RESTINGA

MATA DE RESTINGA				
\overline{AB}	\overline{D}	NTA	\overline{H}	Hmax
1,33 m	2,72 m	1351,64	8,79 m	15 m

- \overline{AB} = área basal média
- \overline{D} = distância média indivíduo-ponto amostral
- NTA = número total de indivíduos por unidade de área (10.000 m²)
- \overline{H} = altura média dos indivíduos
- Hmax = altura máxima dos indivíduos

Esta formação mostra o estrato superior formado por árvores de troncos retilíneos com algumas emergentes de até 20 metros de altura. O estrato médio é ralo e reduzidos indivíduos de porte herbáceo são observados. Segundo Unesco (1973) esta formação é classificada como I.A.1f (Árborea densa, perenifólia, tropical, ombrófila aluvial). Nas áreas de contato com outras formações (especialmente as arbustivas) forma-se um entrelaçamento de indivíduos de porte herbáceo, arbustivo e arbóreo, dominado por bromélias, cipós e palmeiras, que tornam a formação praticamente impenetrável (Figura 4.21).



Fig. 4.21 - Aspecto do contato entre as Formações de Mata de Restinga e Clusia.

4.11.1.2 - FORMAÇÃO DE MATA PALUDOSA

Esta formação é apresentada, descrita e cartografada por Henriques et al. (1986). Porém, nos trabalhos realizados no campo pode-se observar que, ao menos atualmente, na área de estudo o espaço ocupado por esta formação restringe-se a extensões longitudinais de até 50 metros, localizadas às margens de pequenos córregos, com extensões transversais inferiores a 20 metros.

A Mata Paludosa foi identificada apenas ao longo de um braço, à margem direita, do córrego do Camboatã e ao longo de apenas um dos córregos que alimentam a lagoa de Carapebús, em sua margem direita (aquele mais próximo à linha da costa) - Figura 4.22.

Esta formação é caracterizada por um estrato superior mais aberto e mais baixo do que a Mata de Restinga. O estrato médio é bastante ralo e o herbáceo é dominado por Pteridófitas e vegetação aquática. Corresponde a classe I.A.1g (Arborea densa, perenifolia, tropical, ombrófila pantanosa), segundo Unesco (1973).

A Mata Paludosa, quando observada, apresenta-se localizada nas depressões que se dispõem entre os cordões arenosos, em microrelevo caracteristicamente mamelonado. O terreno é inundável periódica e/ou permanentemente. O solo apresenta-se arenoso e de compactidade fraca.

As áreas cartografadas por Henriques et al. (1986) como de domínio da Formação de Mata Paludosa atualmente são constituídas, em sua maior parte, por Formações Brejosas (Seção 4.11.3.2).

A ação antrópica apresenta-se muito desenvolvida na área, sob a forma de coleta de lenha e carvão, queimadas (Figura 4.23) e ampliação da fronteira agrícola (Figura 4.24).



Fig. 4,22 - Aspecto geral da Formação de Mata Paludosa.



Fig. 4.23 - Devastação na área de Mata Paludosa - área amostral nº 11.



Fig. 4,24 - Terreno "limpo" após desmatamento na área de domínio da Mata Paludosa - proximidades da área amostral nº 11.

4.11.1.3 - FORMAÇÃO DE MATA SECA

Algumas áreas, anteriormente demarcadas como de domínio da Formação de Mata Paludosa, sofreram o processo de colmatação e foram substituídas por matas caracteristicamente secas (Figura 4.25), muito semelhantes fisionomicamente as Matas de Restinga. Porém, as Matas Secas apresentam menores extensões comparativamente. Unesco (1973) classifica esta formação como I.A.1 (Arborea densa, perenifolia, tropical, ombrófila).



Fig. 4,25 - Aspecto geral da "Mata Seca"; ao fundo área amostral nº 12.

As áreas de transição apresentadas entre a Formação de Mata Seca e as formações arbustivas muito se assemelham às aquelas referentes a Mata de Restinga (Figura 4.26), mostrando-se praticamente impenetráveis.



Fig, 4,26 - "Mata Seca" em contato com a Formação de Clusia - área amostral nº 11.

A Formação de "Mata Seca" localiza-se nos cordões arenosos em microrelevo mamelonado. O terreno apresenta-se úmido, aparentemente inundável acidentalmente. A compacidade do solo é nula e determinada preponderantemente pelo entrelaçamento promovido pelas raízes. As camadas de serrapilheira atingem até 20 cm de altura. São observadas lianas, bambus e palmeiras em seu domínio. A área amostral nº 12 apresentou raízes escoras, muitas Pteridófitas e alta densidade de palmeiras,

A atividade antrópica na área da Formação de "Mata Seca" foi considerada rara ou nula e, conseqüentemente, a artificialização bastante fraca.

Os valores referentes aos parâmetros avaliados nesta formação, a partir do Método dos Quadrantes aplicado na amostra nº 12 (Figura 4.11), são apresentados na Tabela 4.10.

TABELA 4.10 - DADOS REFERENTES ÀS CARACTERÍSTICAS DA "MATA SECA"

MATA "SECA"				
\overline{AB}	\overline{D}	NTA	\overline{H}	Hmax
0,95 m	2,78 m	1293,93	6,54 m	11 m

- \overline{AB} = área basal média
- \overline{D} = distância média indivíduo-ponto amostral
- NTA = número total de indivíduos por unidade de área (10.000 m²)
- \overline{H} = altura média dos indivíduos
- Hmax = altura máxima dos indivíduos

Esta formação é caracterizada pela ausência de indivíduos emergentes. Os estratos médio e herbáceo são densos apenas nas áreas de contato com outros tipos de formações.

4.11.1.4 - OBSERVAÇÕES COMPLEMENTARES

- As formações florestais encontram-se sob forte ação antropogênica, cujo ritmo acelerado induz a crer que estas formações serão brevemente dizimadas.
- Além dos pontos amostrais identificados na Figura 4.11, outros locais foram checados no campo nas proximidades e na área de estudo. Foi identificada uma região cuja formação vegetal do tipo "Mata de Restinga" apresenta-se praticamente inalterada pela ação antrópica. Esta área localiza-se à margem direita da lagoa de Carapebús, nas proximidades do córrego do Maracujá.
- A Formação de Mata Paludosa atualmente presente na área de estudo limita-se a restritas extensões, sequer cartografáveis na escala de trabalho adotada (1:50.000), ou detectáveis pelo Sensor TM.

- d) A formação denominada preliminarmente de "Mata Seca", encontra-se limitada a áreas reduzidas e suas características fisionômicas muito se assemelhamas da Mata de Restinga.

4.11.2 - FORMAÇÕES ARBUSTIVAS

Baseado na classificação realizada por Henriques et al. (1986) e nos diferentes padrões espectrais analisados nas imagens, foram identificadas as amostras referentes a este tipo de formação. Porém, as variações espectrais observadas nas classes de Clusia e Ericacea determinaram um melhor detalhamento nos levantamentos de campo.

4.11.2.1 - FORMAÇÃO DE CLUSIA

Considerando as características espectrais identificadas a partir da análise visual, das composições coloridas e classificações digitais realizadas, foram adotados os nomes de Clusia "Clara" e Clusia "Escura" para as áreas correspondentes respectivamente aos padrões tonais mais claros e mais escuros. Ambas as áreas mereceram estudos mais detalhados,

A Formação de Clusia localiza-se nos cordões arenosos que se dispõem ao longo da costa, sobre áreas cujo microrelevo é caracterizado por bossas, o terreno é muito seco e aparentemente nunca inundado. O solo que sustenta esta cobertura vegetal é arenoso de compactidade nula. A ação dos ventos, de origem oceânica, atua movimentando as areias e determinando a forma de distribuição da vegetação.

Sob intensa ação da salsugem, a Formação de Clusia é constituída por moitas intercaladas por áreas de areia branca com alguma cobertura herbácea (Figura 4.27). Segundo Unesco (1973) é classificada como III.A.1d (Arbustiva clara, latifoliada, perenifolia, esclerofila).



Fig. 4,27 - Aspecto geral da Formação de Clusia.

As moitas são caracteristicamente esféricas, formadas por diversas espécies vegetais. Suas copas tocam o chão e suas extremidades são marcadas pela presença de bromélias, cactaceas e palmeiras anãs. Em seu interior as moitas apresentam galhos e folhas secas, além de um ambiente escuro e consideravelmente mais úmido do que o externo.

Sobre a areia branca que interliga as moitas desenvolvem-se algumas erva colonizadoras e especialmente as bromélias, cactaceas e palmeiras anãs que se associam formando pequenas moitas monoespecíficas.

Nas áreas de transição entre esta formação e as formações florestais é observado o maior adensamento das moitas (Figura 4.28), culminando nas áreas de contato (Figura 4.21).



Fig. 4,28 - Área de transição entre as Formações de Clusia e Mata de Resinga - proximidades da área amostral nº 9.

A) Formação de Clusia "Escura"

Sob esta denominação foram assumidas as áreas de Formação de Clusia cuja caracterização é evidenciada pela presença de indivíduos de porte arbóreo associados a indivíduos arbustivos e herbáceos na composição das moitas (Figura 4.29).

As áreas correspondentes a Formação de Clusia "Escura" não apresentam atividades agrícola e/ou de pastoreio. As habitações localizam-se distantes a mais de 2 Km.

Entre as áreas amostrais desta formação, o grau de artificialização foi considerado bastante fraco na área de nº 5. Enquanto que a área amostral nº 13 apresentou alguma atividade de coleta de lenha e carvão e o grau de artificialização foi considerado fraco (Figura 4.30).

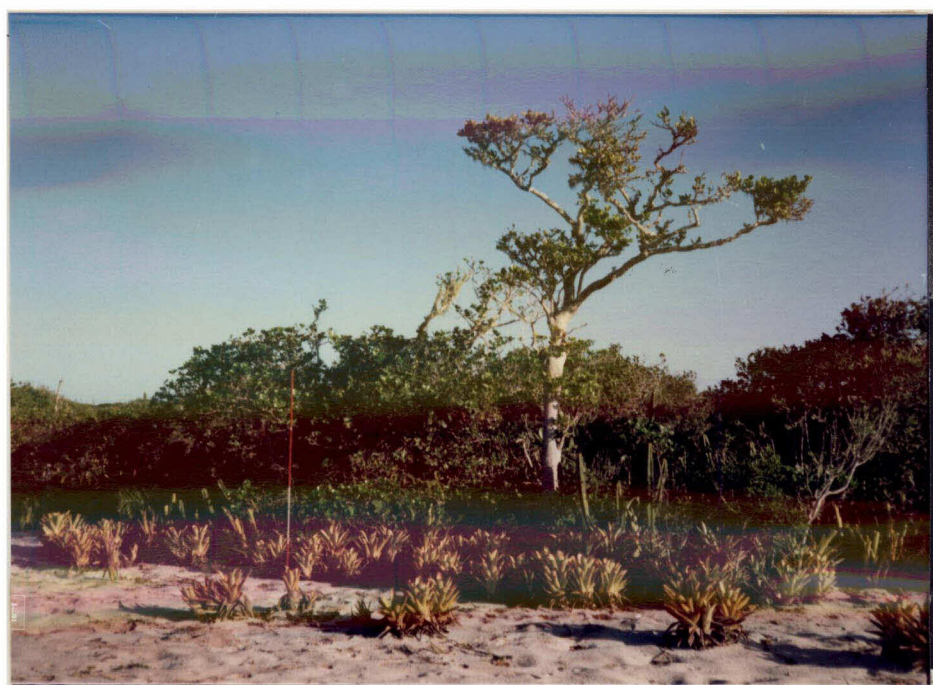


Fig. 4,29 - Aspecto da moita na Formação de Clusia "Escura" - área amostral nº 5,



Fig. 4,30 - Aspecto da moita na Formação de Clusia "Escura" - área amostral nº 13,

Os dados referentes as características das moitas apresentadas pela Formação de Clusia "Escura", obtidos a partir da aplicação do Método de Intercepção de Linha, são mostrados na Tabela 4.11.

Os dados relativos a cobertura herbácea que ocupa as areias que interligam as moitas, nesta formação, obtidos com a aplicação do Método dos Quadrados, são apresentados na Tabela 4.12.

A Figura 4.31 apresenta o aspecto geral da cobertura herbácea característica entre as moitas arbóreo-arbustivas da Formação de Clusia "Escura",

TABELA 4.11 - DADOS REFERENTES ÀS CARACTERÍSTICAS DAS MOITAS DA
FORMAÇÃO DE CLUSIA "ESCURA"

CLUSIA "ESCURA"				
DL	DA	C	H	Hmax
0,08	1,89 %	44,63 %	3,17 m	4,80 m

- DL = densidade linear
- DA = densidade absoluta
- C = cobertura
- H = altura média
- Hmax = altura máxima

TABELA 4.12 - COBERTURA HERBÁCEA (%) DAS ÁREAS APRESENTADAS ENTRE MOITAS
NA FORMAÇÃO DE CLUSIA "ESCURA"

CLUSIA "ESCURA"					
COBERTURA TOTAL (%)	COBERTURA CACTOS (%)	COBERTURA GRAMÍNEAS (%)	COBERTURA ERVAS (%)	COBERTURA BROMÉLIAS (%)	COBERTURA PORTE ES PECIAL (%)
2-10	< 2	< 2	2-10	< 2	2-10

B) Formação de Clusia "Clara"

Esta formação é caracterizada pelo antropismo que determina o grau médio de artificialização do ambiente (em função dos níveis de gradação considerados). O estudo desta formação baseou-se nas áreas amostrais de nº 1 e 2 (Figura 4.11).



Fig, 4.31 - Aspecto geral da cobertura herbácea, entre moitas, da Formação de Clusia "Escura" - área amostral nº 13.

A presença de esterco de gado (Figura 4.32) e trilhas de animais (Figura 4.33) indicam a atividade de pastoreio desenvolvida na área da Formação de Clusia "Clara". A coleta de lenha (Figura 4.34) e a presença de trilhas de veículos pesados (Figura 4.35), determinam diferenças fundamentais do meio físico apresentadas por esta formação, quando comparada a Formação de Clusia "Escura".

Na Formação de Clusia "Clara" também são observadas cercas referentes a limites de propriedades (Figura 4.36) e áreas de exploração de areia (Figura 4.37).

As moitas presentes nesta formação são caracteristicamente formadas por elementos arbustivos e herbáceos, além de raros indivíduos arbóreos. Estas moitas apresentam-se com menores diâmetros e alturas do que aquelas presentes na Formação de Clusia "Escura". A cobertura herbácea que se distribui em meio a areia branca que interliga as moitas mostra-se de forma escassa.



Fig. 4,32 - Presença de esterco na Formação de Clusia "Clara" - área a
mostral nº 1,



Fig. 4,33 - Trilhas de animais na Formação de Clusia "Clara" - área amostral nº 2.



Fig. 4,34 - Coleta de lenha na Formação de Clusia "Clara" - área amostral nº 1.



Fig. 4,35 = Trilhas de veículos pesados na Formação de Clusia "Clara" - á
rea amostral nº 2,



Fig. 4,36 = Limites de propriedade na Formação de Clusia "Clara" - á
rea amostral nº 1,



Fig. 4,37 - Exploração de areia na Formação de Clusia "Clara" - proximidades da lagoa Comprida.

As Tabelas 4.13 e 4.14, respectivamente, contêm as informações obtidas a partir da aplicação dos Métodos de Intercepção de Linha e dos Quadrados. A visualização desta área é mostrada na Figura 4.38.

TABELA 4.13 - DADOS REFERENTES ÀS CARACTERÍSTICAS DAS MOITAS DA
FORMAÇÃO DE CLUSIA "CLARA"

CLUSIA "CLARA"				
DL	DA	C	H	Hmax
0,06	2,99 %	38,74 %	2,95 m	4,00 m

- DL = densidade linear
- DA = densidade absoluta
- C = cobertura
- H = altura média
- Hmax= altura máxima

TABELA 4.14 - COBERTURA HERBÁCEA (%) DAS ÁREAS APRESENTADAS ENTRE MOITAS
NA FORMAÇÃO DE CLUSIA "CLARA"

CLUSIA "CLARA"					
COBERTURA TOTAL (%)	COBERTURA CACTOS (%)	COBERTURA GRAMÍNEAS (%)	COBERTURA ERVAS (%)	COBERTURA BROMÉLIAS (%)	COBERTURA PORTE ES PECIAL (%)
< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2



Fig. 4,38 - Aspecto geral da Formação de Clusia "Clara" - área amostral nº 1,

C) Observações Complementares

- 1) A ação antropogênica é determinante na redução da cobertura herbácea e de indivíduos arbóreos, bem como das características referentes ao diâmetro, altura e cobertura das moitas, observadas na Formação de Clusia "Clara", quando comparada a Clusia "Escura".
- 2) Grande intervalo de variância nos dados coletados no campo foi observado nas áreas de Clusia "Clara". Enquanto que, os dados referentes a Formação de Clusia "Escura" apresentaram, comparativamente, menor intervalo de variação.
- 3) Considerando as respostas espectrais de ambas as formações, aquela referente a Formação de Clusia "Clara" apresenta maior participação do elemento solo do que a de Clusia "Escura".

4.11.2.2 - FORMAÇÃO DE ERICACEA

Localizada nas depressões do terreno, cujo microrelevo é caracterizado pela presença de bossas, esta formação apresenta-se tipicamente complexa. A partir da análise visual, das composições coloridas e classificações digitais supervisionadas realizadas, este comportamento já era esperado; uma vez que, diversos padrões e/ou classes espectrais foram associados entre si caracterizando esta formação.

A distribuição desta formação estende-se entre áreas consideradas submersas (Figura 4.39), inundadas periodicamente (Figura 4.40) e nunca inundadas (Figura 4.41), baseando-se nos padrões definidos no trabalho de campo realizado.



Fig. 4.39 - Formação de Ericacea em área submersa - área amostral nº 6.



Fig. 4.40 - Formação de Ericacea em terreno inundável periodicamente - área amostral nº 10.



Fig. 4.41 - Formação de Ericacea em terreno nunca inundado - área amostral nº 6,

Esta formação é caracterizada por moitas que se distribuem em mosaico sobre solo acinzentado de compacidade nula. As moitas ocorrem sobre pequenos montes entre áreas de densa cobertura herbácea, como observa-se na Figura 4.40. Por vezes, esta cobertura herbácea, composta predominantemente por gramíneas, é substituída por densa cobertura de Pteridófitas que se estende por amplas áreas (Figura 4.42). Unesco (1973) classifica esta formação como III.A.1 (Arbustiva densa, latifoliada, perenifolia).

A transição desta formação com a Formação de Clusia ocorre gradualmente, como pode ser observado nas Figuras 4.41 e 4.43. Em decorrência deste fato, sua demarcação no campo apresenta-se bem dificultada.

O antropismo na área amostral nº 6 é observado a partir da presença de esterco e trilhas, e limita-se as proximidades da Formação de Clusia. Aí o grau de artificialização foi considerado fraco.



Fig, 4,42 - Formação de Ericacea, abrangência da extensão de Pteridófitas - área amostral nº 6.



Fig, 4,43 - Área de transição entre as Formações de Ericacea e Clusia - área amostral nº 6.

Na área amostral nº 10 a coleta de lenha e caryão apresenta-se muito desenvolvida (Figura 4.44). O grau de artificialização foi considerado entre médio e forte.



Fig, 4.44 - Evidência da destruição da vegetação na Formação de Erica - área amostral nº 10.

Os parâmetros avaliados, a partir da aplicação do Método de Intercepção de Linha, referentes à Formação de Ericacea, são apresentados na Tabela 4.15.

Pode-se observar que, nesta formação vegetal, as moitas que apresentam as maiores alturas localizam-se nas áreas inundadas. As menores densidades absolutas são identificadas nas áreas onde foram constatadas as atividades de coleta de lenha e caryão. Enquanto que, a menor cobertura arbustiva corresponde as áreas em que foram identificadas trilhas e esterco.

Em função da complexidade intrínseca desta formação, grande variância entre os dados coletados foi observada com relação às características fisionômicas da cobertura vegetal da área.

TABELA 4.15 - DADOS REFERENTES ÀS CARACTERÍSTICAS DAS MOITAS
NA FORMAÇÃO DE ERICACEA

FORMAÇÃO DE ERICACEA				
DL	DA	C	H	Hmax
0,21	9,18 %	59,30 %	4,04 m	4,80 m

- DL = densidade linear
- DA = densidade absoluta
- C = cobertura
- H = altura média
- Hmax= altura máxima

4.11.2,3 - FORMAÇÃO DE PÓS-PRAIA

Esta formação não foi detectada a partir de nenhuma das análises realizadas, dentre os produtos gerados. Ela estende-se ao longo da praia alcançando larguras, perpendiculares a linha da costa, de até oito metros.

Formada por moitas de nanofanerófitos, esta formação insere-se na classe IV.A.1 (Arbustiva densa, baixa, perenifólia), segundo Unesco (1973). Originalmente, forma tapetes extensos praticamente impenetráveis. Porém, a partir da ação antrópica identificada na área, esta formação apresenta-se com moitas baixas, de forma arredondada, que se interligam a partir de areias brancas colonizadas por microfanerófitos (Figura 4.45).



Fig. 4,45 - Aspecto geral da Formação de Pós-Praia, Ao fundo, a Formação Graminóide úmida.

4,11,3 - FORMAÇÃO HERBÁCEA

Dentre as formações vegetais apresentadas por Henriques et al, (1986), as classes de Mata Paludosa e Graminóide com arbustos quando amostradas no campo (áreas amostrais nº 11 e nºs 3 e 4), destacaram respectivamente a presença de dois tipos de formações herbáceas: a Formação Graminóide e a Formação Brejosa.

4.11.3.1 - FORMAÇÃO GRAMINÓIDE

Esta formação foi classificada como graminóide úmida ou inundada. Segundo a classificação da Unesco (1973) esta formação é categorizada como V.B.5a(1) - Vegetação herbácea, graminóide, de altura intermediária, sem sinúsia lenhosa, úmida ou inundada a maior parte do ano. Esta formação apresenta alta cobertura do solo e é constituída basicamente por gramíneas que atingem entre 20 cm e 2 m de altura.

Localizada nas depressões do terreno, a Formação Graminóide ocorre em microrelevo côncavo nas áreas muito úmidas, submersas periodicamente. A compactidade do solo é nula e são observados alguns termiteiros na área (Figura 4.46).



Fig. 4.46 - Aspecto geral da Formação Graminóide - área amostral nº 4.

A atividade antropogênica na área é caracterizada pela presença de esterco, trilhas e gado pastando (Figuras 4.47 e 4.48). O grau de artificialização foi considerado fraco,

Esta formação apresenta um contato abrupto com a Formação de Clusia. As áreas de transição, limitadas a poucos metros, são caracterizadas por aglomerações de cactáceas, gramíneas baixas e erva microfilas (Figura 4.49).



Fig, 4,47 - Trilha de gado na Formação Graminóide - área amostral nº 3.



Fig, 4,48 - Rebanho bovino na Formação Graminóide, Contato com a Formação de Clusia - área amostral nº 4.



Fig. 4.49 - Área de transição entre as Formações Graminóide e Clusia - área amostral nº 3.

4.11.3.2 - FORMAÇÃO BREJOSA

Esta formação foi observada a partir dos trabalhos de campo e identificada no lugar da Mata Paludosa, apresentada por Henriques et al. (1986), na amostra de nº 11 (Figura 4.11).

É definida pela classificação da Unesco (1973) como V.E.1a (Herbácea, tropical, hidromórfica, fixa). Seu posicionamento ocorre nas depressões do terreno, às margens dos córregos que alimentam a lagoa de Carapebús. O solo apresenta-se impermeável e permanentemente inundado. A cobertura vegetal é densa e formada por plantas aquáticas (Figuras 4.50 e 4.51).

4.11.3.3 - FORMAÇÃO PRAIAL GRAMINÓIDE

Os produtos gerados neste trabalho não permitiram a visualização desta formação. Ela estende-se pela orla marítima alcançando larguras, perpendiculares à linha da costa, de até 10 metros.



Fig. 4,50 - Contato entre as Formações de "Mata Seca" e Brejosa (ao fundo) - área amostral nº 11.



Fig. 4,51 - Formação Brejosa, ao fundo aparece a Formação de "Mata Seca" devastada - área amostral nº 11.

Sua classificação a partir da Unesco (1973) é Y.C.6 (Vegetação herbácea, graminóide baixa, sem sinúsia lenhosa). É caracterizada pela influência constante dos ventos marinhos, sob intensa salsugem e sujeita as oscilações das marés que promovem inundações periódicas.

Estas características ambientais determinam a zonation da cobertura vegetal que lhe é característica. Seus elementos são predominantemente microfanerófitos (Figura 4.52).



Fig. 4.52 - Aspecto geral da Formação Praial Graminóide - proximidades da área amostral nº 9.

Intensa atividade antrópica é observada nos domínios desta formação. Dentre elas, destaca-se a via de acesso que atravessa todas as restingas que se dispõem entre Macaê e a lagoa Paulista, a nordeste de Carapebús (Figura 4.53).



Fig. 4.53 - Via de acesso que atravessa a Formação Praia Graminóide. Esta via interliga a cidade de Macaé a lagoa Paulista.

4.12 - ANÁLISE ESPECTRAL DOS DADOS

Uma breve análise dos comportamento das curvas espectrais das formações vegetais detectadas pelo Sensor TM, obtidas a partir dos valores médios dos "pixels" correspondentes nas bandas TM 1-2-3-4-5-7, é aqui realizada. A curva espectral característica de cada formação vegetal pode ser visualizada na Figura 4.54.

4.12.1 - FORMAÇÃO DE MATA

Esta formação florestal apresenta o comportamento espectral muito semelhante aquele padrão do alvo vegetação.

A maior discrepância com relação a esta semelhança é observada na banda TM1, onde comparativamente as demais bandas do visível (TM2 e TM3) o valor digital médio apresenta-se relativamente mais elevado. Esta observação decorre da interferência atmosférica nos dados, que

mostra-se muito mais elevada na banda espectral TM1 do que nas demais bandas do Sensor TM. Em associação a este fato, tem-se que a aplicação da técnica de atenuação dos efeitos atmosféricos não atua eliminando to talmente estes efeitos.

O pico dos valores digitais, apresentado por esta formação vegetal, localiza-se na banda TM4, que corresponde a região de maior re flectância da vegetação.

A correspondência geral deste comportamento espectral com aquele padrão da vegetação decorre, preponderantemente, das característica cas do alvo (Formação de Mata) que determinam intensa participação da co bertura vegetal no sinal registrado pelo Sensor.

4.12.2 - FORMAÇÕES DE CLUSIA "CLARA" E CLUSIA "ESCURA"

Estas formações apresentam as curvas de comportamento es pectral muito semelhantes entre si, destacando apenas que a Formação de Clusia "Clara" determinou valores digitais médios sempre superiores àque les apresentados pela Formação de Clusia "Escura".

Entre estas formações, a Clusia "Clara" apresenta maior ex posição do solo do que a Clusia "Escura". Segundo Santos (1988), este tipo de solo (arenoso) caracteriza-se por exibir maior reflectância do que a vegetação, nas bandas espectrais TM1, TM2, TM3, TM5 e TM7. Esta ca racterística espectral dos alvos solo e vegetação preponderantemente de terminou a maior radiância relativa da Formação de Clusia "Clara" nestas bandas espectrais.

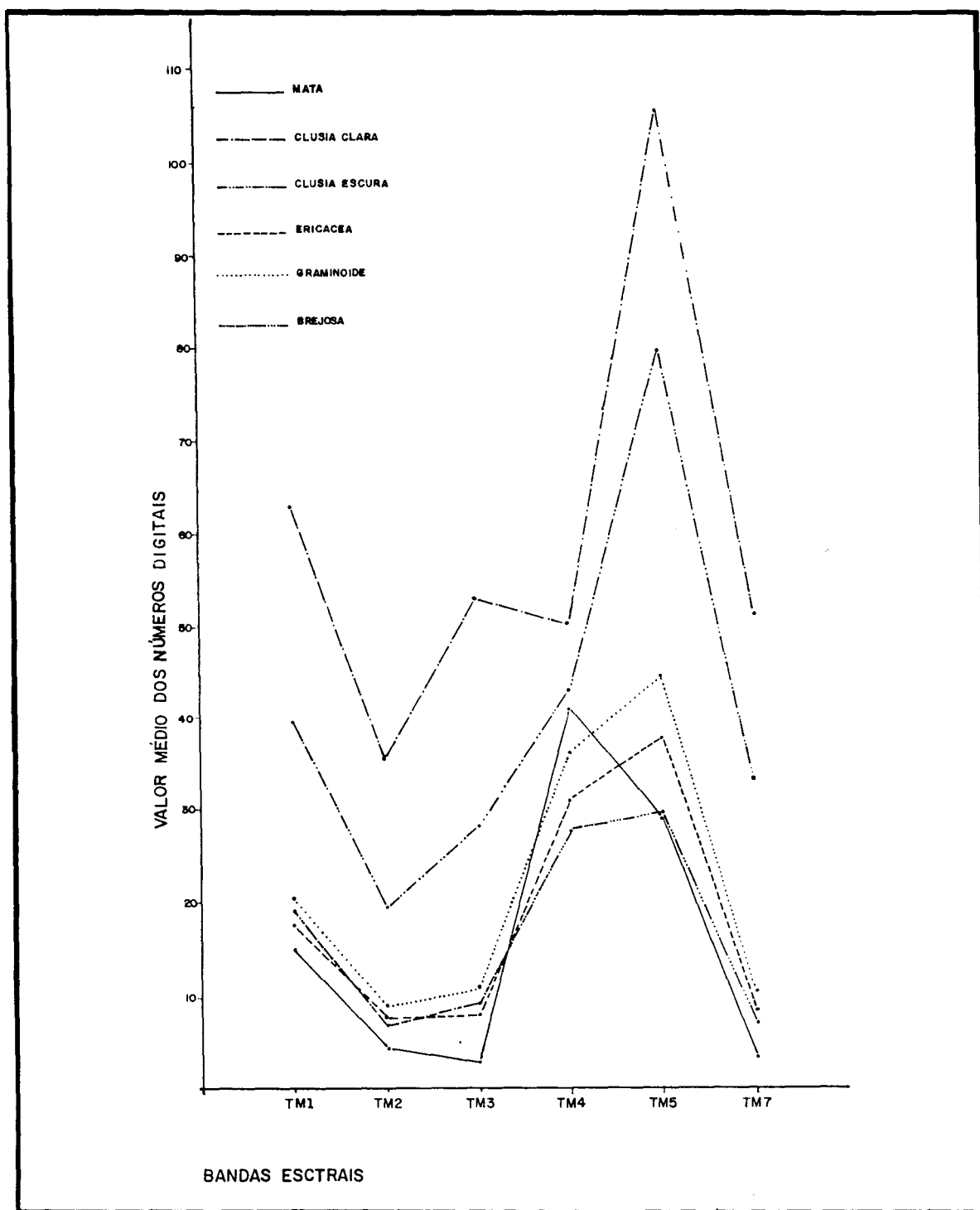


Fig. 4,54 - Curyas espectrais obtidas a partir dos valores digitais médios dos "pixels" correspondentes às Formações vegetais de interesse, nas bandas espectrais TM 1-2-3-4-5-7 (05/07/88).

A menor variação entre os valores médios dos números digitais apresentados pelas Formações de Clusia "Clara" e Clusia "Escura" foi identificada na banda TM4. Esta banda localiza-se na região de maior reflectância da vegetação, coincidentemente, onde, em termos comparativos, o alvo solo arenoso possui menor reflectância. Nesta região, portanto, a vegetação é a principal responsável pela resposta espectral da cena em questão. Tendo, desta forma, determinado a maior semelhança entre os valores de radiância detectados das Formações de Clusia "Clara" e Clusia "Escura"; ambas apresentando grande semelhança fitofisionômica.

4.12.3 - FORMAÇÕES DE ERICACEA, GRAMINÓIDE E BREJOSA

As curvas espectrais destas formações, bem como suas características fitofisionômicas e ambientais, muito se assemelham. Os valores médios relativos aos números digitais das Formações de Ericacea, Graminóide e Brejosa apresentam-se muito próximos entre si.

A Formação de Ericacea mostra, em sua curva de valores digitais médios, características determinadas pela complexidade de feições que abrange; uma vez que, os números digitais referentes a esta formação, nas bandas espectrais utilizadas neste trabalho (TM 1-2-3-4-5-7), ora se apresentam maiores, ora menores, do que aqueles relativos a Formação Brejosa. Enquanto que, à Formação Graminóide correspondem os maiores valores digitais médios, se comparados com aqueles relativos as Formações de Ericacea e Brejosa.

A densa cobertura vegetal e a localização em depressões do terreno em áreas úmidas ou inundadas, de solo arenoso, são algumas das características ambientais que se assemelham entre estas formações; onde os alvos vegetação - água - solo determinam as semelhanças espectrais observadas,

4.12.4 - ANÁLISE GERAL

Ainda que, os valores digitais médios referentes as diferentes formações vegetais existentes na área de estudo apresentem-se, por vezes, muito semelhantes entre si, a aplicação de técnicas de processamento digital de imagens (realce ou classificação) permitiu a detecção e discriminação e, conseqüentemente, a cartografia da:

- a) Formação de Mata
- b) Formação de Clusia "Clara"
- c) Formação de Clusia "Escura"
- d) Formação de Ericacea
- e) Formação Graminóide
- f) Formação Brejosa

Estas técnicas atuaram realçando sutis diferenças espectrais existentes entre as feições de interesse, bem como, agrupando digitalmente dados que apresentaram comportamento espectral semelhantes entre as bandas e/ou imagens utilizadas.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir dos objetivos propostos e resultados obtidos, o presente trabalho permitiu o destaque de alguns aspectos fundamentais que determinaram as conclusões e recomendações ora apresentadas.

5.1 - CONCLUSÕES

- 1) A análise visual das imagens do Sensor TM - LANDSAT 5 reafirmou a alta qualidade radiométrica apresentada por seus dados digitais; destacando a ausência de ruídos perceptíveis visualmente.
- 2) A análise radiométrica dos dados digitais do Sensor TM evidenciou o maior efeito da atenuação atmosférica nas bandas espectrais localizadas na porção visível do espectro eletromagnético (TM1, TM2, TM3). Considerando o Método de Subtração do "Pixel" Escuro, para correção destes efeitos de atenuação atmosférica; as áreas de sombra apresentaram-se mais eficientes do que aquelas correspondentes a corpos d'água.
- 3) A aplicação de técnicas de seleção de bandas espectrais e de realce de dados, confirmou que, no caso da restinga avaliada; as melhores bandas do Sensor TM, para estudos fitofisionômicos, são: TM 3 - TM4 - TM5.
- 4) A utilização de técnicas de realce de imagens multiespectrais, permitiu o destaque de determinadas feições fitofisionômicas, possibilitando a visualização de formações vegetais presentes na área.
- 5) A classificação digital não supervisionada (K-Médias) atuou como uma técnica complementar ao reconhecimento da área. Auxiliou preliminarmente a identificação de formações vegetais a serem cheçadas no campo e orientou a seleção de amostras a serem apresentadas, na fase de treinamento, para a classificação digital supervisionada.

- 6) O trabalho de campo é fundamental para a caracterização fitofisiológica e ambiental da área de estudo. A aplicação dos métodos de amostragem é imprescindível para a classificação qualitativa e semi-quantitativa da vegetação e do atual estágio da atividade antrópica na área. A partir dos dados e informações obtidos no campo, podem ser explicadas as variações observadas no comportamento espectral dos alvos de interesse.

O antropismo na Restinga de Carapebús apresenta-se em ritmo acelerado. Basicamente todas as formações vegetais encontram-se sob alguma forma de pressão antropogênica. Em especial, as atividades de coleta de lenha, carvão, pastoreio, ampliação da fronteira agrícola e exploração de areia são as mais evidentes na área.

- 7) A análise visual e digital, dos produtos gerados no desenvolver deste trabalho (composições coloridas, formadas por bandas espectrais do Sensor TM e imagens realçadas; e classificações digitais supervisionadas, realizadas a partir de dados originais e processados digitalmente), permitiu a seleção dos seguintes produtos, como mais apropriados ao estudo proposto:

- a) Composição colorida formada pelas bandas espectrais TM 3 (azul) - TM 4 (vermelho) - TM 5 (verde), realçada pela Transformação por IHS.
- b) Composição colorida formada pelas bandas espectrais TM 3 (vermelho) - TM 4 (verde) - TM 5 (azul), realçada pela Transformação por Decorrelação,
- c) Classificação digital supervisionada (segundo o critério de máxima verossimilhança) realizada a partir das bandas espectrais TM 1-2-3-4-5-7.
- d) Classificação digital supervisionada (segundo o critério de máxima verossimilhança) realizada a partir das três primeiras imagens componentes principais, obtidas da Transformação por Rotação Espectral aplicada às bandas TM 1-2-3-4-5-7.

- 8) O bom desempenho apresentado pelas composições coloridas selecionadas se baseou no comportamento espectral dos alvos de interesse (formações vegetais), em associação a seleção de bandas espectrais realizada, e ao tipo de técnica de realce aplicado (rotação espectral).
- 9) O bom desempenho apresentado pelas classificações digitais selecionadas dependeu basicamente da qualidade das amostras fornecidas, do comportamento dos alvos da cena e das classes espectrais de interesse. Podendo-se destacar que:
 - a) A seleção das amostras fornecidas, na fase de treinamento ao classificador Maxyer, se baseou nos centros de classes apresentados pela classificação digital não supervisionada (K-Médias) e nas áreas amostrais checadas no trabalho de campo realizado.
 - b) O classificador Maxyer, baseado nas mesmas áreas amostrais, apresentou resultados de classificação distintos entre si; quando aplicado a diferentes produtos. Destacando-se a baixa qualidade dos resultados da classificação realizada a partir das imagens razão (TM2/TM4, TM3/TM4, TM3/TM5 e TM7/TM2).
- 10) Em comparação com resultados de mapeamento apresentados anteriormente por Henriques et alii (1986), pode-se destacar que: a caracterização fitofisionômica realizada a partir de dados digitais, do Sensor TM - LANDSAT 5, foi comparativamente superior àquela obtida com o uso de fotografias aéreas convencionais preto e branco.
- 11) Dentre os resultados obtidos, com referência as formações vegetais, tem-se:
 - a) As Formações: Mata Paludosa, Mata "Seca", Praia Graminóide e Pós-Praia, não foram detectadas nas análises realizadas nos

produtos gerados, devido principalmente a suas dimensões lineares inferiores ao poder de resolução espacial do Sensor TM.

- b) As Formações Graminóide e Ericacea apresentaram alguns problemas de discriminação nos produtos gerados. Apenas através da classificação digital supervisionada, realizada a partir das bandas espectrais TM 1-2-3-4-5-7, obteve-se a total discriminação entre estas formações.
- c) As Formações Graminóide e Brejosa apresentaram alta confusão de classificação a partir da análise de suas amostras através do algoritmo Maxver. Isto determinou a exclusão das amostras referentes a Formação Brejosa na etapa de treinamento do classificador supervisionado. A Formação Brejosa apresentou-se visualmente bem discriminada das demais formações vegetais nas composições coloridas geradas; com exceção da aquela formada pelas bandas espectrais TM 3 (azul) - TM 4 (vermelho) - TM 5 (verde), submetidas unicamente a técnica de Ampliação Linear de Contraste.
- d) A Formação de Mata (abrangendo: Mata de Restinga, Mata "Seca" e Mata Paludosa) apresentou-se bem discriminada das demais formações vegetais em todos os produtos analisados. Seu comportamento espectral mostra-se bem diferenciado dos demais.
- e) As Formações de Clusia "Clara" e Clusia "Escura" apresentaram alguns problemas relativos à discriminação. Apenas a imagem classificada digitalmente, a partir da aplicação do algoritmo Maxver às três primeiras imagens componentes principais, obtidas das bandas espectrais do Sensor TM localizadas na porção do espectro refletido (TM 1-2-3-4-5-7); permitiu o real dimensionamento das classes espectrais correspondentes a estas formações - destacando, de forma mais próxima àquela observada no campo, as inúmeras intrusões de Clusia "Clara" na Formação de Clusia "Escura".

5.2 - RECOMENDAÇÕES

A partir de observações realizadas durante a execução dos trabalhos e da análise feita com referência aos resultados obtidos, foram destacadas algumas sugestões relativas a futuras atividades relacionadas ao tema de estudo. Desta forma, recomenda-se:

- 1) A aplicação da metodologia, desenvolvida neste trabalho, em outras áreas de restinga.

Esta aplicação deve fundamentar-se na obtenção de dados referentes a caracterização fitofisionômica de outras restingas; na avaliação da metodologia e dos resultados alcançados; e no aperfeiçoamento das técnicas de obtenção de informações, a partir de dados digitais do Sensor TM - LANDSAT 5.

A metodologia, ora apresentada, permite o estudo de áreas cuja composição fitofisionômica se assemelhe a área teste (Restinga de Carapebús - Macaé). Porém, para aplicação em áreas cujas características apresentem-se distintas, daquelas já avaliadas, a mesma encontra-se sujeita a avaliações e aperfeiçoamento.

- 2) O estudo fitossociológico das formações vegetais apresentadas neste trabalho.

Algumas listagens da composição florística da Restinga de Carapebús - Macaé (RJ) são encontradas na bibliografia. Porém, a partir da identificação e mapeamento de formações vegetais, não descritas anteriormente na área; foi gerada a necessidade de um levantamento e análise fitossociológica.

Dentre as formações vegetais que mais necessitam deste levantamento, destacam-se:

- a) Clusia "Clara" e Clusia "Escura" - Visando o reconhecimento da composição de espécies de ambas e identificação de possíveis variações florísticas entre si.

- b) Mata "Seca" - Muito se assemelha fisicamente a Mata de Restinga; porém, não dispõe de um levantamento florístico.
 - c) Brejosa - Apresenta-se em substituição a Formação de Mata Paludosa, em áreas submetidas a forte antropismo.
- 3) O monitoramento das condicionantes ambientais da Restinga de Carapebús - Macaé (RJ).

Esta restinga encontra-se sob significativa pressão antropogênica, que ameaça o equilíbrio ecológico deste ambiente caracteristicamente frágil.

O acompanhamento dos antropismos e do comportamento dos recursos naturais diante das alterações promovidas no ecossistema, apresenta-se de fundamental importância para o controle e avaliação da degradação na área.

Este monitoramento deve basear-se fundamentalmente nas características referentes a: clima, geomorfologia, regime hídrico, solos, cobertura vegetal e fauna, diretamente relacionadas a exploração dos recursos então desenvolvida.

Os produtos de sensores remotos que operam a nível orbital apresentam considerável potencialidade no auxílio destes acompanhamentos.

- 4) A análise e comparação dos resultados obtidos, relativos a caracterização fitofisionômica da Restinga (de Carapebús e outras), a partir de dados digitais dos Sensores "Thematic Mapper" - TM (LANDSAT 5) e "High Resolution Visible" - HRV (SPOT)

Além do Sistema LANDSAT, encontra-se também em operação o Sistema SPOT, de coleta de dados da superfície terrestre, equipado com os Sensores HRV, que apresentam características espectrais, espaciais e temporais diferentes daquelas do Sensor TM.

O Sensor HRV restringe sua atuação a apenas três bandas espectrais, localizadas entre as regiões do visível e do infravermelho próximo; e uma banda pancromática. Nos modos multiespectral (X) e pancromático (P), respectivamente apresentam resoluções espaciais de 20 m e 10 m.

Dentre as formações vegetais presentes na Restinga de Carapebús, algumas apresentaram limitações à detecção, a partir dos dados do Sensor TM; fundamentalmente em decorrência da resolução espacial deste sensor. Por outro lado, tipos fitofisionômicos não identificados anteriormente (a partir de fotografias aéreas pancromáticas) foram detectados e discriminados entre si; especialmente em função da qualidade espectral dos dados do Sensor TM.

O estudo da vegetação de Restinga a partir dos dados digitais do Sensor HRV, e a comparação dos resultados alcançados com aqueles obtidos dos dados do Sensor TM, visam a avaliação da potencialidade de ambos os sensores, para estudos referentes a cobertura vegetal dos ecossistemas de Restinga. Considerando que, a partir dos mesmos objetivos de trabalho, a associação dos dados apresentados pelos modos multiespectral e pancromático do Sensor HRV deve determinar potencialidades e resultados distintos daqueles a partir dos dados do Sensor TM.

5) A criação de uma Unidade de Conservação que abranja a Restinga de Carapebús - Macaé (RJ).

Esta restinga está entre os últimos exemplares, ainda não totalmente descaracterizados, deste ecossistema, na costa sudeste brasileira. Nela, concentram-se espécies florísticas, formações vegetais e elementos de fauna representativos de várias restingas e de outros ecossistemas nacionais. Levando em conta estes e outros aspectos, desde o ano de 1984, a comunidade ambientalista propôs a elevação da área a categoria de Unidade de Conservação. Porém, até hoje esta proposição não foi acatada.

Em decorrência deste fato, as atividades antrópicas continuam se desenvolvendo de forma desenfreada na área, promovendo a sua rápida descaracterização. Esta atividade vem se fazendo diretamente sob a forma de coleta de lenha e produção de carvão, atividades de pastoreio e ampliação da fronteira agrícola. Paralelamente, a utilização de agrotóxicos nas culturas de cana, que se localizam a montante da área, o despejo de vinhoto, vinhaça e demais resíduos dos canaviais nos afluentes das lagoas que compõem a restinga, desenvolvem-se também progressivamente.

A exemplo de experiências passadas, com outras áreas de restinga no território brasileiro, prevê-se a curto prazo a total descaracterização de mais este ecossistema costeiro. Os interesses econômicos se atrelam no desenvolvimento das atividades exploratórias e tendem a culminar nos empreendimentos imobiliários que se estendem ao longo da costa brasileira. Portanto, considerando as atividades antrópicas que já se desenvolvem na Restinga de Carapebús (sob a forma de ações diversas); associada a complexidade e fragilidade inerentes às restingas; torna-se necessária a tomada imediata de providências enérgicas no sentido de controlar e combater a exploração dos recursos naturais deste ecossistema. Para tanto, exige-se, além do empenho da comunidade ambientalista, a tomada de consciência nacional e o interesse político para a conservação e/ou preservação das derradeiras restingas que compõem a costa brasileira.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDON, M. de M.; VIEIRA, E.G.M.; ESPÍNDOLA, C.R.S.; SETZER, A.W.
Evaluation of the extension and degradation of mangrove areas in
Sergipe State with remote sensing data. In: INTERNATIONAL ARCHIVES
OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 16., Kioto, Japão, 1988.
Supplement. Kioto, ISPRS, 1988, v. 27, T. 8, Comissão VI, p.32-37.
- ABRAMS, M. Landsat-4 Thematic Mapper and Thematic Mapper Simulator data
for a porphyry copper deposit. Photogrammetric Engineering and
Remote Sensing, 50(8):1171-1173, 1984.
- ADENIYI, P.O. Digital analysis of multitemporal Landsat data for land-
use/land-cover classification in semi-arid area of Nigeria.
Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 51(11):1761-1774, 1985.
- AHERN, F.J.; LECKIE, D.G. Digital remote sensing for forestry;
requirements and capabilities today and tomorrow. Geocarto
International, 2(3):43-52, 1987.
- AHERN, F.J.; SIROIS, J. Reflectance enhancements for the Thematic
Mapper: an efficient way to produce images of consistently high
quality. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 55(1):61-67,
1989.
- ALMEIDA FILHO, R.; VITORELLO, I. Enhancement of digital images through
band ratio techniques for geological applications. São José dos Cam-
pos, INPE, 1982, 22 p. (INPE-2604-PRE/250).
- ANDERSON, P.S.; RIBEIRO, A.J.; VINK, A.P.A.; VERSTAPPEN, H.T.; BOON,
D.A.; SALIBA, A.V.R. Fundamentos para fotointerpretação. Rio de Ja-
neiro, Sociedade Brasileira de Cartografia, 1982. 138 p.

- AOKI, H.; SANTOS, J.R. dos. Estudo da vegetação de cerrado na área do Distrito Federal, a partir de dados orbitais. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1980, 144 p. (INPE-1730-TDL/026).
- AQUINO, L.C.S.; SHIMABUKURO, Y.E.; SANTOS, J.R. dos. Análise automática dos dados do Landsat no levantamento da vegetação natural e uso atual na área piloto de Barreirinha/AM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, DF, maio 10-14, 1982. Anais. São José dos Campos, INPE, 1982, v. 3, p. 839-848.
- ARAÚJO, D.S.D. de; ESTEVES, F. de A.; HAY, J.D.; MACIEL, N.C.; HENRIQUES, R.P.B. Proposta de uma área no município de Macaé, Estado do Rio de Janeiro, para conservação de um Ecossistema Brasileiro. s.l.; 1984, s.ed. Apresentado à Presidência da República como descrição preliminar da área.
- ARAÚJO, D.S.D. de; HENRIQUES, R.P.B. Análise florística das restingas do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, RJ, dez. 10-14, 1984. Anais. Niterói, CEUFF, 1984, p. 159-194.
- ARAÚJO, D.S.D. de; LACERDA, L.D. de. A natureza das restingas. Ciência Hoje, 6(33):42-48, 1987.
- ASHBY, M. Introduction to plant ecology. Glasgow, University Press, 1969. 249 p.
- ASRAR, G.; WEISER, R.L.; JOHNSON, D.E.; KANEMASU, E.T.; KILLEEN, J.M. Distinguishing among Tallgrass Prairie cover types from measurements of multispectral reflectance. Remote Sensing of Environment, 19:159-169, 1986.
- BARBOSA, M.P. Tratamento automático de imagens. São José dos Campos, INPE, 1984, 47 p. (INPE-3001-MD/024).

- BATISTA, G.T.; HIXSON, H.M.; BAUER, M.E. Landsat MSS crop classification performance as a function of scene characteristics. International Journal of Remote Sensing, 6(9):1521-1533, 1985.
- BEAUBIEN, J. Forest type mapping from Landsat digital data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 45(8):1135-1144, 1979.
- Visual interpretation of vegetation through digitally and enhanced Landsat-MSS images. Remote Sensing Reviews, 2:111-143, 1986.
- BELWARD, A.S.; HOYOS, A. de. A comparison of supervised maximum likelihood and decision tree classification for crop cover estimation from multispectral Landsat MSS data. International Journal of Remote Sensing, 8(2):229-235, 1987.
- BERNARDES, N. Aspectos do litoral brasileiro. Boletim Geográfico, 25(191):165-171, 1966.
- BOOM, B.M. A forest inventory in Amazonian Bolivia. Biotrópica, 18(4): 287-294, 1986.
- BOWKER, D.E.; DAVIS, R.E.; MYRICK, D.L.; STACY, K.; JONES, W.T. Spectral reflectances of natural targets for use in remote sensing studies. Washington, D.C., NASA, 1985. 181 p. (NASA Reference Publication, 1139).
- BROWER, J.E.; ZAR, J.H. Field and laboratory methods for general ecology. Dubuque, IA, Wm.c Brown Company Publishers, 1977. 194 p.
- BUCHHEIM, M.P.; MACLEAN, A.L.; LILLESAND, T.M. Forest cover type mapping and spruce budworm defoliation detection using simulated SPOT imagery. In: SPOT SYMPOSIUM, Scotsdale, AR, May 20-23 1984. Proceedings of the 1984 SPOT Symposium, SPOT Simulation applications handbook. Falls Church, VA, American Society of Photogrammetry, 1984, p. 259-266.

- CAIN, S.A.; CASTRO, G.M. de O. Manual of vegetation analysis. New York, NY, Hafner Publishing Company, 1971. 583 p.
- CANAS, A.A.D.; BARNETT, M.E. The generation and interpretation of false colour composite principal component images. International Journal of Remote Sensing, 6(6):867-881, 1985.
- CARDOSO, A.; PEREIRA, A.B.; SÃ, C.F.C. de; DANILEVICZ, E.; ESTEVES, G.L.; PUTZKE, J.; WAECHTER, J.L.; GOMES, J.M.L.; THOMAZ, L.D.; FABRIS, L.C.; SARAHYBA, L.S.; ALVES, M.V. da S.; SILVA, M.B.R. da; OLIVEIRA, M.L.A.A. de; SUGIYAMA, M.; GUEDES, R.R.; LEMOS, R.P. de L.; JESUS, S.R.S. de; MAZZITELLI, S.M. de A.M. Aplicação de métodos fitossociológicos para o estudo de vegetação de Restinga na Ilha do Cardoso, SP. Ilha do Cardoso, s.ed., 1988. 14 p. Relatório final de curso.
- CARTER, D.J. The remote sensing sourcebook; a guide to remote sensing products, services, facilities, publications and other materials. Londres, Kogan Page, 1986.
- CHAVEZ Jr., P. Atmospheric, solar and MTF corrections for ERTS digital imagery. In: SYMPOSIUM OF AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, 1., Falls Church, VA, Oct. 1975. Proceedings. Falls Church, VA, 1975, p. 1-14.
- CHITTINENI, C.B. Dependent feature trees for density approximation. I. Optimal construction and classification results. International Journal of Remote Sensing, 3(1):31-44, 1982.
- Dependent feature trees for density approximation. II. Maximum likelihood clustering. International Journal of Remote Sensing, 3(2): 163-179, 1983.
- CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia. São Paulo, Edgard Blucher, 1980, 188 p.

- COLVOCORESSES, A.P. Image mapping with the Thematic Mapper. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(9):1499-1505, 1986.
- COLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. Remote Sensing of Environment, 3:175-183, 1974.
- COMISSÃO DE SOLOS. Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal. Contribuição à Carta dos Solos do Brasil. Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, 11: 1-350, 1958.
- CORREIA, Y.R.M.; FELGUEIRAS, C.A.; DUTRA, L.V. Integração de dados de modelos numéricos de terreno e imagens de satélite utilizando-se Transformação IHS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., Manaus, AM, jun. 24-29, 1990. Anais. São José dos Campos, INPE, 1990, v. 3, p. 736-739.
- COTTAN, G.; CURTIS, J.T. The use of distance measures in phytosociological sampling. Ecology, 37:451-460, 1956.
- CRIPPEN, R.E. The dangers of underestimating the importance of data adjustments in band rationing. International Journal of Remote Sensing, 9(4):767-776, 1988.
- The regression intersection method of adjusting image data for band rationing. In: THEMATIC CONFERENCE ON REMOTE SENSING FOR EXPLORATION GEOLOGY, 5., Reno, NE, Sep. 29 - Oct. 2, 1986. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1987, v. 1, p. 407-416.
- CURTIS, J.T.; COTTAM, G. Plant ecology workbook; laboratory, field and reference manual. Minneapolis, MN, Burgess Publishing Company, 1969. 193 p.
- DANCY, K.J.; WEBSTER, R.; ABEL, N.O.J. Estimating and mapping grass cover and biomass from low-level photographic sampling. International Journal of Remote Sensing, 7(12):1679-1704, 1986.

- DANSEREAU, P. Distribution en zones et succession dans la "banc de sable" de et Rio de Janeiro. Revue Canadiense de Biologie, 6(3):448-477, 1947.
- DANSON, F.M. Preliminary evaluation of the relation-ships between SPOT-1 HRV data and forest stand parameters. International Journal of Remote Sensing, 8(10):1571-1575, 1987.
- DAU, L. Microclimas das restingas do sudeste do Brasil. I - Restinga interna de Cabo Frio. Arquivos do Museu Nacional, 50:79-133, 1960.
- DeGLORIA, S.D.; BENSON, A.S. Interpretability of advanced SPOT film products for forest and agricultural survey. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53(1):37-44, 1987.
- DeGRANDE, D.A.; LOPES, E.A. Plantas da Restinga da Ilha do Cardoso (São Paulo, Brasil). Hoehnea, 9:1-22, 1981.
- DIAS, L.A.V.; PEREIRA, A.E.C.; CÂMARA NETO, G.; BETANCOURT, J.J.V. Correção de efeitos atmosféricos em imagens de satélite. São José dos Campos, INPE, 1981, 11 p. (INPE-2281-PRE/059).
- DOMINGUES, A.J.P. O litoral brasileiro: tipos de costas. Boletim Geográfico, 24(185):315-319, 1965.
- DOMINGUES, A.J.P.; BRANDÃO, A.M. de P.M.; GUERRA, A.J.T.; DOMINGUES, C.N.; KUHLMANN, E.; SANT'ANA, E.M.; LIMA, G.R.; SILVA, L.M.; WHATELY, M.H.; ALONSO, M.T.A.; BULHÕES, M.G. de; REGIS, W.D.E.; SILVA, Z.L. da Estudo do relevo, hidrografia, clima e vegetação das regiões programa do Estado do Rio de Janeiro. Boletim Geográfico, 34(248):5-73, 1976.
- DUTRA, L.V.; II, F.A.M.; MASCARENHAS, N.D.A. Avaliação da entropia gaussiana e da entropia de Shannon como critérios de seleção de atributos. São José dos Campos, INPE, 1984, 9 p. (INPE-3383-PRE/656).

DUTRA, L.V.; SOUZA, R.C.M. de; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C. Análise automática de imagens multiespectrais. São José dos Campos, INPE, 1981, 31 p. (INPE-2212-MD/009).

ENGEL, J.L.; WEISTEIN, O. The thematic mapper - an overview. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-21(3):258-264, 1983.

ENGESPAÇO INDÚSTRIA E COMÉRCIO. SITIM-150 Sensoriamento Remoto; manual do usuário. São José dos Campos, SP, s.d.

ESTEVES, F. de A.; ISHII, I.H.; CAMARGO, A.F.M. Pesquisas limnológicas em 14 lagoas do litoral do Estado do Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, RJ, dez. 10-14, 1984. Anais. Niterói, CEUFF, 1984, p. 443-460.

EVERITH, J.H. Assesment of grassland phytomass with airborne video imagery. Remote Sensing of Environment, 20(3):299-306, 1986.

GATES, D.M. Physical and physiological properties of plants. In: NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Remote Sensing; with special reference to agriculture. Washington, D.C., 1971. p. 224-252.

GATES, D.M.; KEEGAN, H.J.; SCHLETER, J.C.; WEIDNER, V.R. Spectral properties of plants. Applied Optics, 4(1):11-24, 1965.

GATTO, L.C.S.; RAMOS, V.L. de S.; NUNES, B.T. de A.; MAMEDE, L.; GOES, M.H. de B.; MAURO, C.A. de; ALVARENGA, S.M.; FRANCO, E.M.S.; QUIRICO, A.F.; NEVES, L.B. Geomorfologia. In: BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Projeto Radambrasil. Rio de Janeiro, 1983. v. 32, p. 305-384.

GAUSMAN, H.W. Leaf reflectance of near-infrared. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 40(2):183-191, 1974.

- GAUSMAN, H.W.; ALLEN, W.A.; WIEGAND, C.L.; ESCOBAR, D.E.; RODRIGUEZ, R.R.; RICHARDSON, A.J. The leaf-mesophyles of twenty crops, their light spectra, and optical and geometrical parameters. Washington, D.C., Department of Agriculture, 1973. 59 p. (Technical Bulletin, 1465).
- GILLESPIE, A.R. Digital techniques of imagens enhancement. In: SIEGAL, B.S.; GILLESPIE, A.R. Remote Sensing in Geology. New York, NY, John Wiley & Sons, 1980. p. 137-226.
- GILLESPIE, A.R.; KAHLE, A.B.; WALKER, R.E. Color enhancement of highly correlated imagens. I. Decorrelation and HSI contrast stretches. Remote Sensing of Environment, 20(3):209-235, 1986.
- Color enhancement of highly correlated images. II. Channel ratio and "chromaticity" transformation techniques. Remote Sensing of Environment, 22(3):343-365, 1987.
- GOLDSMITH, F.B.; HARRISON, C.M. Description and analysis of vegetation. In: CHAPMAN, S.B. Methods in Plant Ecology. Oxney Mead, OX, Blackwell Scientific Publications, 1976. v. 3, p. 85-156.
- GOLDSMITH, F.B.; HARRISON, C.M.; MORTON, A.J. Description and analysis of vegetation. In: MOORE, P.D.; CHAPMAN, S.B. Methods in Plant Ecology. Oxney Mead, OX, Blackwell Scientific Publications, 1986. p. 437-524.
- GRANT, L. Diffuse and specular characteristics of leaf reflectance. Remote Sensing of Environment, 22(2):309-322, 1987.
- GROSS, M.I.; KLEMAS, V.; LEVASSEUR, I.E. Remote sensing of biomass of salt marsh vegetation in France. International Journal of Remote Sensing, 9(3):397-408, 1988.
- HAME, T. Landsat - aided forest site type mapping. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 50(8):1175-1183, 1984.

HARDISKY, M.A.; DAIBER, F.C.; ROMAN, C.T.; KLEMAS, V. Remote sensing of biomass and annual net aerial primary productivity of a salt marsh. Remote Sensing of Environment, 16(2):91-106, 1984.

HAY, J.D.; HENRIQUES, R.P.B.; COSTA, S.R.A. Uma avaliação preliminar da possibilidade de usar equações de regressão para estimativas da biomassa na restinga. Revista Brasileira de Botânica, 5:33-36, 1982.

HAY, J.D.; LACERDA, L.D. de. Ciclagem de nutrientes do ecossistema de restinga. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, RJ, dez. 10-14, 1984. Anais. Niterói, CEUFF, 1984, p. 461-477.

HAYDIN, R.; DALKE, G.W.; HENKEL, J.; BARE, J.E. Application of use the IHS color transform to the processing of multisensor data and image enhancement. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT "REMOTE SENSING OF THE ARID AND SEMI-ARID LANDS". Cairo, Egito, Jan. 1982. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1982, p. 599-616.

HE, D.; WANG, L. Classification automatic assistee par une analyse de texture des paysages de la point d'arcay d'apres des donnees thematic mapper. International Journal of Remote Sensing, 8(2):129-135, 1987.

HENRIQUES, R.P.B.; ARAÚJO, D.S.D. de; HAY, J.D. Descrição e classificação dos tipos de vegetação da restinga de Carapebús, Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Botânica, 9:173-189, 1986.

HENRIQUES, R.P.B.; MEIRELLES, M.L.; HAY, J.D. Ordenação e distribuição de espécies das comunidades vegetais na praia da restinga de Barra de Maricã, Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Botânica, 7:27-36, 1984.

HERNANDEZ FILHO, P.; LEE, D.C.L.; RAMOS, F.S.R.; ALMEIDA, S.A. de O. Avaliação de dados TM/Landsat e HRV/SPOT em áreas reflorestadas. São José dos Campos, INPE, 1988. (INPE-4575-RPE/567).

- HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. Estabelecimento de metodologia para avaliação de povoamentos florestais artificiais utilizando-se dados do LANDSAT. Tese de Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações. São José dos Campos, INPE, 1978.
- HOFFER, R.M. Digital analysis techniques for forestry applications. Remote Sensing Reviews, 2:61-110, 1986.
- HOLBEN, B.; JUSTICE, C. An examination of spectral band rationing to reduce the topographic effect on remotely sensed data. International Journal of Remote Sensing, 2(2):115-133, 1981.
- HORLER, D.N.H.; AHERN, F.J. Forestry information content of thematic mapper data. International Journal of Remote Sensing, 7(3):405-428, 1986.
- HUECK, K. Plantas e formação organogênica das dunas no litoral paulista, parte 1. São Paulo, Instituto de Botânica, 1955. 130 p.
- HUDSON, W.D. Evaluation of several classification schemes for mapping forest cover types in Michigan. International Journal of Remote Sensing, 8(12):1785-1796, 1987.
- INCE, F. Digital image processing systems and remote sensing. International Journal of Remote Sensing, 4(1):129-148, 1983.
- Maximum likelihood classification, optimal or problematic? A comparison with nearest neighbour classification. International Journal of Remote Sensing, 8(12):1829-1838, 1987.
- INSTITUTE D'AMENAGEMENT ET D'URBANISME DE LA REGION D'ILE-DE-FRANCE. Les possibilites d'exploitation des donnees thematic mapper: bases pour des propositions d'estudes. Paris, 1984.

- IRONS, J.R. An overview of Landsat 4 and thematic mapper. In: NASA. Landsat 4 Science Characterization Early Results; symposium held at Greenbelt, MD, Feb. 22-24, 1983. Washington, D.C., NASA, 1985, v. 2, Part I, p. 2.15-2.46. (NASA Conference Publication 2355).
- JUSTICE, C.; TOWNSHEND, J. A comparison of unsupervised classification procedures on Landsat MSS data for an area of complex surface conditions in Brasilicata, southern Italy. Remote Sensing of Environment, 12(5):407-420, 1982.
- KAHLE, A.B.; MADURA, D.P.; SOHA, J.M. Midle infrared multispectral aircraft scanner data: analysis for geological applications. Applied Optics, 19(14):2279-2290, 1980.
- KNEIP, L.M. Ocupação humana. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, RJ, Dez. 10-14, 1984. Anais. Niterói, CEUFF, 1984, p. 137.
- KNEIP, L.M.; PALLESTRINI, L. Restingas do Estado do Rio de Janeiro (Niterói a Cabo Frio): 8 mil anos de ocupação humana. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, RJ, Dez. 10-14, 1984. Anais. Niterói, CEUFF, 1984, p. 139-146.
- KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. Remote Sensing of Environment, 1:155-159, 1970.
- KOO, J.Y.; KIM, M. An improved hibrid classifier. International Journal of Remote Sensing, 7(3):471-476, 1986.
- LACAZE, B.; JOFRE, R. Caracterisation de formations vegetales mediterraneennes a partir de donnees "Thematic Mapper". International Journal of Remote Sensing, 8(9):1319-1333, 1987.

- LACY, R.B.; JENSEN, J.R. Evaluation of Thematic Mapper data for mapping tidal wetlands in south Carolina. In: ASPRS Annual Meeting, 53. ACSM Annual Meeting, 47. Baltimore, Mar. 29 - Apr. 3, 1987. Technical Papers. Falls Church, VI, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1987. p. 393-400.
- LAMEGO, A.R. Ciclo evolutivo das lagoas fluminenses. Boletim do Departamento de Produção Mineral, 118:1-48, 1945.
- O homem e a restinga. Rio de Janeiro, IBGE, 1946. 227 p.
- Restinga na costa do Brasil. Boletim do Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), 96:1-63, 1940.
- LASHACK, L.; BAKER, R.; WHITE, J.W. Forest mensurations by airborne pulsed laser techniques. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Am Herst, Oct. 7-9, 1985. Remote Sensing Instrumentations: technology for science and applications. New York, NY, IEEE, 1985.
- LEE, T.; RICHARDS, J.A. A low cost classifier for multitemporal applications. International Journal of Remote Sensing, 6(8):1405-1417, 1985.
- LETTS, P. Unsupervised classification in the aries image analysis system. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 5., Ottawa, ON, 1978. Proceedings. Ottawa, ON, 1978. p. 61-71.
- MACIEL, N.C. Fauna da restinga: avanços nos conhecimentos. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL E SUDESTE BRASILEIRA: ESTRUTURA, FUNÇÃO E MANEJO, 2., Águas de Lindóia, SP, Abr. 6-11, 1990. Anais. São Paulo, Academia de Ciências, 1990. p. 249-257.
- MAGNANINI, A. Contribuição ao estudo das zonas de vegetação de Sernambetiba, DF, Brasil. Arquivos do Serviço Florestal, 8:147-232, 1954.

- MAIO, C.R. Estudo morfológico do litoral e das baixadas do nordeste brasileiro. Boletim Geográfico, 35(255):20-79, 1977.
- MARCZYK, J.S.; KARPUK, E.; RAYNER, M.R. Digital Landsat data for land-cover and land-use classification for use in integrated resource planning a feasibility study. Canadian Journal of Remote Sensing, 10(2):177-189, 1984.
- MARKHAM, B.L.; BARKER, J.L. Spectral characterization of the Landsat Thematic Mapper sensors. International Journal of Remote Sensing, 6(5):696-716, 1985.
- MAY Jr., L.N. An evaluation of LANDSAT MSS digital data for updating habitat maps of the Louisiana coastal zone. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(8):1147-1158, 1986.
- MENESES, P.R. Avaliação e seleção de bandas do Sensor "Thematic Mapper" do LANDSAT 5 para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento de semidetalhe. Tese de Doutorado em Geologia. São Paulo, USP, 1986. 233 p.
- MORTON, A.J. Moorland plant community recognition using Landsat MSS data. Remote Sensing of Environment, 20:291-298, 1986.
- MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. Aims and methods of vegetation ecology. New York, NY, John Wiley & Sons, 1974. 547 p.
- MUSICK, H.B.; PELLETIER, R.E. Response of some Thematic Mapper band ratios to variation in soil water content. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 52(10):1661-1668, 1986.
- NOVO, E.M.L. de M. Sensoriamento Remoto; princípios e aplicações. São Paulo, Edgard Blucher, 1989.

OLIVEIRA-GALVÃO, A.L.C. de; GALVÃO, W.S.; CARVALHO, V.C. de. Análise e seleção de imagens razão, para a caracterização fitofisionômica da restinga, a partir de classificação digital supervisionada. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO SOBRE SENSORES REMOTOS, 4., San Carlos de Bariloche, nov. 20-24, 1989. Anais. San Carlos de Bariloche, SELPER, 1990a, v. 3, p. 1007-1020.

----- Monitoramento da cobertura vegetal da restinga de Carapebús - Macaé (RJ), a partir de imagens orbitais. In: SIMPÓSIO DE ECOSSISTEMAS DA COSTA SUL-SUDESTE BRASILEIRA: ESTRUTURA, FUNÇÃO E MANEJO, Águas de Lindóia, SP, Abr. 6-11, 1990. Anais. São Paulo, Academia de Ciências, 1990b, v. 3, p. 442-454.

ORMOND, W. Ecologia das restingas do sudeste do Brasil, comunidades vegetais das praias arenosas. Arquivos do Museu Nacional, 50:185-236, 1960.

PAIRMAN, D.; KITTLER, J. Clustering algorithms for use with images of clouds. International Journal of Remote Sensing, 7(6):885-896, 1986.

PALYLYK, C.L.; CROWN, P.H. Application of clustering to Landsat MSS digital data for peatland inventory. Canadian Journal of Remote Sensing, 10(2):201-208, 1984.

PARADELLA, W.R. Avaliação de critérios de seleção de atributos espectrais de imagens digitais MSS-Landsat em discriminações litológicas no baixo vale do Rio Curaçá-BA. Revista Brasileira de Geofísica, 2:105-117, 1984.

PEIXOTO, D. de C. Geografia fluminense. Niterói, RJ, Newton Mattoso, 1970. 313 p.

PINTO, J.H.D.; SANTOS, J.R. dos; CHIANG, L.C.; NIERO, M.; PINTO, S.A.F.; CARVALHO, V.C. de. Levantamento integrado dos recursos naturais da área do Parque Nacional da Amazônia (Tapajós), baseado nas imagens MSS do Landsat. São José dos Campos, INPE, 1979. (INPE-1577-RPE/074).

- PLUMMER, S.E. Exploring the relationships between leaf nitrogen content, biomass and the near-infrared/red reflectance ratio. International Journal of Remote Sensing, 9(1):177-183, 1988.
- PONZONI, F.J.; HERNANDEZ FILHO, P. Vegetation mapping in Pantanal region using Thematic Mapper sensor: a physiognomic approach. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, 16., Kioto, Japão, 1988. Supplement. Kioto, ISPRS, 1988, v. 27, T. 8, Comission VI, p. 180-188.
- RAINES, G.L.; CANNEY, F.C. Vegetation and geology. In: SIEGAL, B.S.; GILLESPIE, A.R. Remote Sensing in Geology. New York, NY, John Wiley & Sons, 1980. p. 365-380.
- ROBERTSON, P.K.; O'CALLAGHAN, J.F. The application of perceptual color spaces to the display of remotely sensed imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 26(1):49-59, 1988.
- ROTHERY, D.A. Decorrelation stretching as an aid to image interpretation. International Journal of Remote Sensing, 8(9):1253-1254, 1987.
- ROY, P.S. Montane vegetation stratification through digital processing of Landsat MSS data. Geocarto International, 2(1):19-26, 1987.
- RUSCHI, A. Fitogeografia do Estado do Espírito Santo - I. Considerações gerais sobre a distribuição da flora no Estado do Espírito Santo. Boletim do Museu Mello Leitão, Série Botânica, 1:1-353, 1950.
- SALOMONSON, V.V. Landsat D, a systems overview. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 12., Manila, Filipinas, Apr. 20-26, 1978. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1978, v. 1, p. 371-385.

SALOMONSON, V.V.; PARK, A.B. An overview of the Landsat D project with emphasis on the flight segment. In: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM, 5., West Lafayette, IN, June 27-29, 1979. Proceedings. New York, IEEE, 1979, p. 2-11.

SALOMONSON, V.V.; SMITH, P.L.; PARK, A.B.; WEBB, W.C.; LYNCH, T.J. An overview of progress in the design and implementation of Landsat D systems. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-18(2):137-146, Apr. 1980. Special Issue on Machine Processing of Remotely Sensed Data.

SANTIAGO, R.H.; MEDEIROS, J.S. de; SANTOS, J.R. dos. Seleção de canais TM/Landsat para avaliação de áreas de reflorestamento no Estado do Mato Grosso do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., Gramado, RS, Ago. 1986. Anais. São José dos Campos, SP, INPE, 1986.

SANTISTEBAN, A.; MUÑOZ, L. Principal components of a multispectral image: application to a geological problem. IBM Journal Research Development, 22(5):444-454, 1978.

SANTOS, J.R. dos. Biomassa aérea da vegetação de cerrado: estimativa e correlação com dados do Sensor "Thematic Mapper" do Satélite Landsat. Tese de Doutorado em Ciências Florestais. Curitiba, UFPR, 1988. 156 p.

----- Utilização de imagens Landsat e fotografias SKYLAB, para levantamento de vegetação, relevo e caracterização de áreas de maior potencial agrícola no sul do Espírito Santo. São José dos Campos, SP, INPE, 1976. (INPE-957-NTE/071).

SANTOS, J.R. dos; HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em vegetação. São José dos Campos, SP, INPE, 1981, 52 p. (INPE-2215-MD/010).

- SANTOS, L.B. dos. Estudo esquemático da vegetação do Brasil. Boletim Geográfico, 9(104):848-854, 1951.
- SATTERWHITE, M.B.; HENLEY, J.P. Spectral characteristics of selected soils and vegetation in Northern Nevada and their discrimination using band ratio techniques. Remote Sensing of Environment, 23(2): 155-175, 1987.
- SATTERWHITE, M.B.; RICE, W.; SHAPMAN, J. Using landform and vegetative factor to improve the interpretation of Landsat imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 50(1):83-91, 1984.
- SAUER, J.D. Problems and prospects of vegetational research in coastal environments. Geoscience and Man, 14:1-16, 1976.
- SCHOWENGERDT, R.A. Techniques for image processing and classification in remote sensing. Orlando, FL, Academic Press, 1983. 249 p.
- SCHNETZLER, C.C. Effect on sun and sensor geometry, canopy structure and density, and atmospheric condition on the spectral response of vegetation, with particular emphasis on across-track pointing. In: SIGNATURES SPECTRALES D'OBJECTS EN TÉLÉDETECTION. Avignon, França, Sept. 8-11, 1981. Annaes. Paris, 1981.
- SIEGAL, B.S.; ABRAMS, M.J. Geologic mapping using Landsat data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 42(3):325-337, 1976.
- SINGH, A.; HARRISON, A. Standardized principal components. International Journal of Remote Sensing, 6(6):883-896, 1985.
- SLATER, P.N. Remote sensing optics and optical systems. Massachusetts, MA, Addison-Wesley Company, 1980. 575.
- SMITH, P.G. Quantitative plant ecology. Berkeley, CA, University of California Press, 1983. 256 p. (Studies in ecology, 9).

- SOARES, P.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Notícia Geomorfológica, 16(32): 71-104, 1976.
- SOHA, J.M.; SCHWARTZ, A.A. Multispectral histogram normalization. In: CANADIAN SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING, 5., Victoria, BC, August, 1978. Proceedings. Victoria, BC, Pacific Forest Research Centre, 1978, p. 86-93.
- STRAHLER, A.H. Stratification on natural vegetation for forest and rangeland inventory using Landsat digital imagery and collateral data. International Journal of Remote Sensing, 2(1):15-41, 1981.
- STUTZMAN, W.; CRAWFORD, H.S. Estimation of the weight of vegetation using microwave transmission measurements. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, Am Herst, MA, Oct. 7-9, 1985. Remote Sensing Instrumentation Technology for Science and Applications New York, NY, IEEE, 1985, p. 164-167.
- SUGUIO, K.; TESSLER, M.G. Planícies de cordões litorâneos quaternários do Brasil: origem e nomenclatura. In: SIMPÓSIO SOBRE RESTINGAS BRASILEIRAS, Niterói, RJ, Dez. 10-14, 1984. Anais. Niterói, RJ, CEUFF, 1984, p. 15-27.
- SWAIN, P.H. Pattern recognition: a basis for remote sensing data analysis. West Lafayette, IN, Purdue University, 1973. 40 p. (LARS Information Note 111572).
- SWAIN, P.H.; KING, R.C. Two effective feature selection criteria for multispectral remote sensing. West Lafayette, IN, Purdue University, 1973. (LARS Information Note 042673).
- THOMAS, R.W.; USTIN, S.L. Discriminating semiarid vegetation using airborne imaging spectrometer data: a preliminary assessment. Remote Sensing of Environment, 23(2):273-290, 1987.

- TOM, C.H.; MILLER, L.D. An automated land-use mapping comparison of the bayesian maximum likelihood and linear discriminant analysis algorithms. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 50(2): 193-207, 1984.
- TOOMEY, D.A.; SCARPACE, F.L. A proposed semi-supervised two stage classification technique. In: ASPRS ANNUAL MEETING, 53/ACSM ANNUAL MEETING, 47, Baltimore, MD, Mar. 29 - Apr. 3, 1987. Technical Papers, image data processing. Falls Church, VI, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing/American Congress on Surveying and Mapping, 1987, v. 6, p. 1-6.
- TOWNSHEND, J.R.G.; JUSTICE, C.O. Unsupervised classification of MSS data for mapping spacially complex vegetation. International Journal of Remote Sensing, 1(2):105-120, 1980.
- TUCKER, C.J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8(2):127-150, 1979.
- U. S. GEOLOGICAL SURVEY. Landsat 4 data users handbook. Alexandria, VA, 1984.
- UENO, S.; KAMATA, Y.; KUSAKA, T. Optimum classification of LANDSAT Thematic Mapper data for ecological study. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 19., Ann Arbor, MI, Oct. 21-25, 1985. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1985, p. 533-564.
- ULE, E. A vegetação de Cabo Frio. Boletim Geográfico, 26(200):21-32, 1965. (Transcrito de Engler Bot. Jahrb 28:511-528, 1901).
- UNESCO. Classificación Internacional y Cartografía de la vegetación. Paris, UNESCO, 1973. 93 p.

- ENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. dos. Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos, SP, INPE, 1982, 54 p.
- VOGELMANN, J.E.; ROCK, B.N. Assessing forest decline in coniferous forests of Vermont using NS-001 Thematic Mapper Simulator data. International Journal of Remote Sensing, 7(10):1303-1321, 1986.
- WEAVER, J.E.; CLEMENTS, F.E. Plant ecology. New York, NY, McGraw-Hill Book Company, 1938. 325 p.
- WEAVER, R.E. Spectral separation of moorland vegetation in airborne thematic mapper data. International Journal of Remote Sensing, 8(1): 43-55, 1987.
- WELCH, R.; USERY, L. Cartographic accuracy of Landsat 4 MSS and TM image data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, GE-22(3):281-287, 1984.
- WESTMAN, W.E.; PARIS, J.F. Detecting forest structure and biomass with C-band multipolarization radar. Physical model and field tests. Remote Sensing of Environment, 22:249-269, 1987.
- WILLIAMS, V.L.; PHILIPSON, W.R.; PHILPOT, W.D. Identifying vegetable crops with Landsat Thematic Mapper data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 53(2):187-191, 1987.
- WOODCOCK, C.E.; STRAHLER, A.H. The factor scale in remote sensing. Remote Sensing of Environment, 21:311-332, 1987.
- WU, J.K.; ZHENG, Q.F.; WANG, W.T. A forest inventory using LANDSAT imagery in the Mao Shan area of China. International Journal of Remote Sensing, 6(12):1783-1795, 1985.

YOOL, S.R.; STAR, J.L.; ESTES, J.E.; BOTKIN, D.B.; ECKHARDT, D.W.; DAVIS, F.W. Performance analysis of image processing algorithms for classification on natural vegetation in the mountains of Southern California. International Journal of Remote Sensing, 7(5):683-702, 1986.

APÊNDICE A

QUESTIONÁRIO APLICADO NO CAMPO PARA AVALIAÇÃO DAS ÁREAS AMOSTRAIS

PROJETO CARAPEBÓS

LEVANTAMENTO FITOFISIONÔMICO

I- DADOS DE IDENTIFICAÇÃO

- 1- Nº levantamento: _____ 2- Data: _____
3- Observador _____
4- Formação _____ 5- Local _____
6- Transecto: Direção _____ Comprimento _____ metros
Localização _____

II- DADOS SOBRE MEIO FÍSICO

- 1- Posição no terreno _____ 2- Micro relevo _____
01. Praia 01. Plano
02. Canaleta de antepraia 02. Convexo
03. Crista de anteprova 03. Côncavo
04. Antepraia 04. Em vales
05. Elevação de duna 05. Em fendas
06. Baixada de duna 06. Alveolado
07. Dunas 07. Em calhas
08. Alto de cordões de areia 08. Em poligonal
09. Baixo de cordões de areia 09. Em bossas
10. Cordões de areia 10. Enrugado
11. Depressões do terreno 11. Mamelonado I
12. Outros _____ 12. Mamelonado II
- 3- Umidade aparente da estação _____ 4- Submersão _____
1. Muito seca 1. Aparentemente nunca inundado
2. Seca 2. Inundável acidentalmente
3. Médio 3. Submersa periodicamente
4. Úmida 4. Submersa com água pouco profunda
5. Muito úmida 5. Submersa com água profunda
- 5- Compacidade _____ 6- Coleta de solo superficial
1. Nula nº _____
2. Fraca
3. Médio
4. Forte
- 7- Salsugem _____

- 8- Observações _____

III- DADOS SOBRE INFLUÊNCIA ANTROPOGÊNICA











- | | |
|--|---|
| 1- Indicação de pastoreio _____ | 2- Indicação de sobrepastoreio _____ |
| 1. Presença de esterco e trilhas | 1. Muito forte |
| 2. Estrato herbáceo pastejado | 2. Forte |
| 3. Est. herbáceo+arbustito past. | 3. Regular |
| 4. Ausência aparente de past. | 4. Fraco |
| 5. (1) e (2) | 5. Ausente |
| 6. (1) e (3) | |
| 3- Composição provável do rebanho _____ | 4- Atividade agrícola na área _____ |
| 1. Caprino | 1. Cultivado < 2 anos |
| 2. Bovino | 2. Cultivado entre 2-5 anos |
| 3. Misto | 3. Cultivado entre 5-10 anos |
| 4. Área livre de pastagem | 4. Cultivado > 10 anos |
| | 5. Rara ou nula |
| | 6. Indeterminada |
| 5- Proximidade de bebedouro permanente _____ | 6- Existência de habitações _____ |
| 1. < 0,5 km | 1. < 0,5 km |
| 2. 0,5 - 1 km | 2. 0,5 - 1 km |
| 3. 1 - 2 km | 3. 1 - 2 km |
| 4. > 2 km | 4. > 2 km |
| 7- Destruição parcial da vegetação _____ | 8- Grau de artificialização _____ |
| 1. Fogo | 1. Vegetação climática |
| 2. Machado | 2. Artificialização bastante fraca |
| 3. Coleta de lenha, carvão etc. | 3. Artificialização fraca |
| 4. Rara ou nula | 4. Artificialização média |
| 5. Outros | 5. Artificialização forte |
| 6. Vários | 6. Artificialização bastante forte |
| | 7. Meio artificialmente desprovido de vegetação |

[illegible]

[illegible]

VEGETAÇÃO HERBÁCEA

NÚMERO DA AMOSTRA	COBERTURA TOTAL (%)	COBERTURA CACTOS (%)	COBERTURA GRAMÍNEAS (%)	COBERTURA ERVAS (%)	COBERTURA BROMÉLIAS (%)	COBERTURA PORTE ESPECIAL (%)

- 1) > 80%  
 2) 40 - 80%  
 3) 10 - 40%  
 4) 2 - 10%  
 5) < 2%  

OBSERVAÇÕES

PRINCIPAIS TIPOS DE MICRO RELEVO



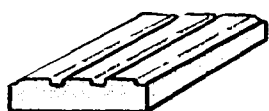
01 - PLANO



02 - CONVEXO



03 - CÔNCAVO



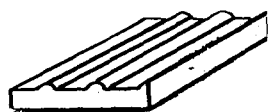
04 - EM VALES



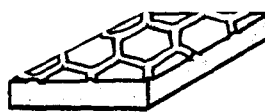
05 - EM FENDAS



06 - ALVEOLADO



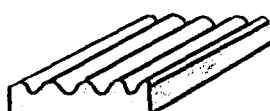
07 - EM CALHAS



08 - EM POLIGONAL



09 - EM BOSSAS



10 - ENRUGADO



11 - MAMELONADO I



12 - MAMELONADO II

APENDICE B

TABELAS

TABELA B.1 - DADOS ESTATÍSTICOS DAS BANDAS DO SENSOR TM, NO ESPECTRO REFLETIDO, ADQUIRIDOS A PARTIR DE AMOSTRAS DA ÁREA DE INTERESSE - SEM CORREÇÕES PARA EFEITOS DE ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA E DE RADIOMETRIA

BANDA ESPECTRAL	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
MÉDIA	60,01	26,92	30,06	46,02	60,33	22,74

MATRIZ DE COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	1,00					
TM2	0,97	1,00				
TM3	0,97	0,98	1,00			
TM4	0,59	0,61	0,58	1,00		
TM5	0,91	0,91	0,92	0,59	1,00	
TM7	0,93	0,93	0,94	0,54	0,96	1,00

MATRIZ DE VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA

	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	241,84					
TM2	148,19	97,49				
TM3	229,50	147,69	230,70			
TM4	75,85	50,12	73,54	69,06		
TM5	356,01	225,05	349,68	122,83	630,77	
TM7	207,54	132,49	206,26	64,90	348,65	207,08

TABELA B.2 - DADOS ESTATÍSTICOS DAS BANDAS DO SENSOR TM, NO ESPECTRO REFLETIDO, ADQUIRIDOS A PARTIR DE AMOSTRAS DA ÁREA DE INTERESSE - COM CORREÇÕES PARA EFEITOS DE ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA E DE RADIOMETRIA

BANDA ESPECTRAL	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
MÉDIA	31,68	15,84	20,75	39,96	58,62	21,60

MATRIZ DE COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO						
	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	1,00					
TM2	0,96	1,00				
TM3	0,97	0,98	1,00			
TM4	0,58	0,61	0,58	1,00		
TM5	0,91	0,91	0,91	0,59	1,00	
TM7	0,93	0,94	0,94	0,55	0,96	1,00

MATRIZ DE VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA						
	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	231,55					
TM2	142,80	94,76				
TM3	219,08	142,66	222,12			
TM4	73,82	49,66	71,62	68,92		
TM5	340,31	217,85	335,24	121,46	608,43	
TM7	201,18	130,07	200,35	64,62	337,85	203,89

TABELA B.3 - SELEÇÃO DE TRIPLETES DE BANDAS TM, A PARTIR DO SUBCONJUNTO TM 1-2-3-4-5-7, UTILIZANDO OS CRITÉRIOS DE DISTÂNCIA JM-MÉDIA e JM-MÍNIMA

COMBINAÇÕES QUE MAXIMIZAM A DISTÂNCIA JM-MÉDIA			
POSICIONAMENTO	COMBINAÇÃO DE BANDAS	DISTÂNCIA JM-MÉDIA	CLASSES COM MENOR DISTÂNCIA DE COMBINAÇÃO
1º	TM 3-4-5	1,394800	ERICACEA - MATA PALUDOSA
2º	TM 3-4-7	1,394323	ERICACEA - MATA PALUDOSA
3º	TM 2-3-5	1,389452	ERICACEA - MATA PALUDOSA

COMBINAÇÕES QUE MAXIMIZAM A DISTÂNCIA JM-MÍNIMA			
POSICIONAMENTO	COMBINAÇÃO DE BANDAS	DISTÂNCIA JM-MÍNIMA	CLASSES COM MENOR DISTÂNCIA DE COMBINAÇÃO
1º	TM 3-4-5	1,246855	ERICACEA - MATA PALUDOSA
2º	TM 2-3-5	1,241801	ERICACEA - MATA PALUDOSA
3º	TM 3-4-7	1,236839	ERICACEA - MATA PALUDOSA

TABELA B.4 - RESULTADOS OBTIDOS A PARTIR DA TRANSFORMAÇÃO POR COMPONENTES PRINCIPAIS (CP), APLICADA AO SUBCONJUNTO DE BANDAS TM 1-2-3-4-5-7

AUTOVALORES						
CP1	CP2	CP3	CP4	CP5	CP6	
1319,19	47,38	43,98	10,23	6,88	2,00	

MATRIZ DE AUTOVETORES						
	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
CP1	0,403	0,259	0,397	0,142	0,667	0,385
CP2	0,467	0,299	0,429	0,271	-0,651	-0,106
CP3	-0,172	-0,058	-0,197	0,940	0,138	-0,163
CP4	-0,608	0,155	0,258	0,108	-0,260	0,678
CP5	-0,466	0,244	0,564	-0,086	0,212	-0,594
CP6	-0,053	0,870	-0,484	-0,068	0,022	-0,043

TABELA B.5 - IMAGENS RAZÃO FORMADAS A PARTIR DO SUBCONJUNTO DE BANDAS TM
1-2-3-4-5-7 E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE "GANHO" E "OFFSET"

IMAGEM TM	GANHO	"OFFSET"
1/2	60	10
2/1	130	60
1/3	25	65
3/1	110	55
1/4	50	90
4/1	40	50
1/5	100	40
5/1	50	-10
1/7	55	40
7/1	105	25
2/3	70	10
3/2	70	-10
2/4	135	40
4/2	25	10
2/5	200	60
5/2	30	-10
2/7	95	40
7/2	60	-10
3/4	100	60
4/3	10	30
3/5	140	50
5/3	20	10
3/7	85	55
7/3	80	10
4/5	100	0
5/4	70	-10
4/7	10	35
7/4	80	30
5/7	25	-10
7/5	200	0

TABELA B.6 - DESEMPENHO DE CLASSIFICAÇÃO MAXVER (MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA)
DAS AMOSTRAS DE CLASSES DE VEGETAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO MAXVER BANDAS TM 1-2-3-4-5-7						
classif classe	N	MAT	CLC	CLE	ERI	GRA
MAT	9,2	88,2	0,0	0,0	1,3	1,3
CLC	6,5	0,0	86,1	7,4	0,0	0,0
CLE	5,8	0,0	4,3	89,9	0,0	0,0
ERI	7,1	0,0	0,0	0,0	90,5	2,4
GRA	8,3	2,1	0,0	0,0	12,5	77,1
DESEMPENHO MÉDIO: 86,59 %						
ABSTENÇÃO MÉDIA: 7,29 %						
CONFUSÃO MÉDIA: 6,12 %						

(A)

- N: Não classificado
- MAT: Formação de Mata
- CLC: Formação de "Clusia Clara"
- CLE: Formação de "Clusia Escura"
- ERI: Formação de Ericacea
- GRA: Formação Graminóide

(Continua)

Tabela B.6 - Conclusão

CLASSIFICAÇÃO MAXVER TM 2/4 - 3/4 - 3/5 - 7/2						
classif classe	N	MAT	CLC	CLE	ERI	GRA
MAT	6,6	84,4	0,0	3,6	2,4	3,0
CLC	3,3	0,0	88,1	8,6	0,0	0,0
CLE	4,6	0,0	13,0	80,6	0,9	0,9
ERI	6,3	0,0	0,0	1,3	77,2	15,2
GRA	9,4	12,5	0,0	3,1	36,5	38,5
DESEMPENHO MÉDIO: 76,38 %						
ABSTENÇÃO MÉDIA: 5,82 %						
CONFUSÃO MÉDIA: 17,80 %						

(B)

CLASSIFICAÇÃO MAXVER 3 PRIMEIRAS IMAGENS COMPONENTES PRINCIPAIS						
classif classe	N	MAT	CLC	CLE	ERI	GRA
MAT	3,0	88,6	0,0	4,2	1,2	3,0
CLC	3,9	0,0	89,5	6,6	0,0	0,0
CLE	5,6	0,9	2,8	90,7	0,0	0,0
ERI	5,1	0,0	0,0	0,0	87,3	7,6
GRA	4,2	5,2	0,0	1,0	20,8	68,8
DESEMPENHO MÉDIO: 85,86 %						
ABSTENÇÃO MÉDIA: 4,16 %						
CONFUSÃO MÉDIA: 9,98 %						

(C)

APÊNDICE C

MAPA DE VEGETAÇÃO DA RESTINGA DE CARAPEBŪS - MACAÉ (RJ)