

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

DISCRIMINAÇÃO DE UNIDADES LITOLÓGICAS NO BAIXO VALE DO RIO
CURAÇA (BAHIA), ATRAVÉS DE REALCES POR PROCESSAMENTO DIGITAL
DE DADOS MSS-LANDSAT 3.

Waldir Renato Paradella

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Amaral

TESE DE DOUTORAMENTO

Área de Concentração: Geologia Geral e de Aplicação

São Paulo

1983

ÍNDICE

	PAG.
SUMÁRIO	v
ABSTRACT	vii
AGRADECIMENTOS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
LISTA DE TABELAS	xviii
<u>CAPÍTULO 1</u>	
PROPÓSITOS DA PESQUISA	
1.1 - Introdução	1
1.2 - As características da pesquisa	3
1.3 - Plano Geral da Pesquisa	9
<u>CAPÍTULO 2</u>	
O COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE MINERAIS, ROCHAS E SOLOS E A INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA ANÁLISE DE DADOS DE SENSORES REMOTOS	
2.1 - Introdução	11
2.2 - Minerais e Rochas	11
2.3 - Solos	17
2.4 - Vegetação	20
<u>CAPÍTULO 3</u>	
PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS LANDSAT	
3.1 - Considerações Gerais	24
3.2 - O Sistema Analisador Image-100	27
3.3 - Técnicas de realce de imagens	30
3.3.1 - Realces por Ampliação Linear de Contraste ("Linear Contrast Stretch")	31
3.3.2 - Composições coloridas de imagens ampliadas linearmente	32
3.3.3 - Divisão de Canais ("Band-Ratio")	32
3.3.4 - Componentes Principais	34

CAPÍTULO 4

A ÁREA DE ESTUDO

4.1 - Características Gerais	36
4.2 - Contexto Geológico Regional	39
4.3 - A Geologia e seus aspectos litológicos principais	49

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DAS IMAGENS REALÇADAS (ÉPOCA SECA)

5.1 - Considerações Gerais	58
5.2 - Realces por Ampliação Linear de Contraste	61
5.3 - Composição colorida contrastada por A.L.C.	70
5.4 - Divisões de Canais	76
5.5 - Composição colorida com Divisões de Canais	88
5.6 - Realces por Componentes Principais	90
5.7 - Composição Colorida de Componentes Principais	99

CAPÍTULO 6

ANÁLISE MULTISAZONAL

6.1 - Introdução	102
6.2 - Composição Colorida Falsa-Cor	102
6.3 - Divisões de Canais	105
6.4 - Componentes Principais	110

CAPÍTULO 7

DADOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

7.1 - Geologia	115
7.2 - Pedologia	139
7.2.1 - Considerações Gerais	139
7.2.2 - Os aspectos superficiais dos solos	148
7.2.3 - O relacionamento litologia/solo e padrões tonais realçados .	152
7.3 - Vegetação	159
7.3.1 - Considerações Gerais	159
7.3.2 - Esquema de Abordagem	160
7.3.3 - Resultados	163
7.4 - Espectrorradiometria	167
7.4.1 - Dados de campo	168
7.4.2 - Dados de Laboratório	185

<u>CAPÍTULO 8</u>	
DESEMPENHO DOS REALCES NA DISCRIMINAÇÃO LITOLÓGICA, ATRAVÉS DE CRITÉRIOS DE SELEÇÃO DE ATRIBUTOS ESPECTRAIS	
8.1 - Considerações Gerais	196
8.2 - Conceituação	197
8.3 - Resultados	199
 <u>CAPÍTULO 9</u>	
CONCLUSÕES	214
 BIBLIOGRAFIA	 221
 APÊNDICE I (Geologia)	 234
 APÊNDICE II (Pedologia)	 236
 APÊNDICE III (Vegetação)	 245

SUMÁRIO

Informações espectrais e multiazonais detectadas pelo MSS - Landsat 3, realçadas por técnicas de tratamento por computador, foram avaliadas no contexto de discriminar unidades litológicas de uma região tropical semi-árida, no Nordeste do Brasil.

A área escolhida (Baixo Vale do Rio Curaçã, Estado da Bahia) é constituída por rochas metamórficas arqueanas/proterozóicas, de alto a baixo grau e é parte da importante província cuprífera do Vale do Curaçã, distando 100 Km ao norte da Mina de Caraíba.

A vegetação é representada por espécies de "caatinga", típica do semi-árido brasileiro, com variada densidade de recobrimento e marcada sazonalidade. A densidade de afloramentos na área é relativamente baixa.

As técnicas aplicadas, incluindo (1) Ampliação Linear de Contraste, (2) Composições Coloridas Contrastadas, (3) Divisões de Canais, (4) Componentes Principais, possibilitaram enfatizar diferenças sutis de refletância espectral da superfície, indicativas de um controle geobotânico dado por variações nas densidades de cobertura vegetal e de mudanças composicionais nos solos residuais, bem correlacionadas com as variações litológicas do substrato. Os padrões tonais extraídos, corresponderam excepcionalmente bem com as unidades litológicas, cartografadas por mapeamentos geológicos convencionais, na escala 1:50.000 e forneceram, adicionalmente, novas contribuições ao conhecimento da área.

As medidas espectrais "in situ" das condições superficiais das unidades e em laboratório, de amostras de solo, mostraram-se compatíveis com os dados registrados no MSS-Landsat e forneceram subsídios para o entendimento das causas das variações espectrais registradas.

Uma análise do desempenho visual dos vários produtos realçados na discriminação litológica, foi também desenvolvida, utilizando-se de critérios de seleções de atributos espectrais.

A comparação visual do conteúdo de informação de significado geológico, contido nos vários realces, mostrou que o produto híbrido (canais 4, 5/7 e 7, associados às cores verde, azul e vermelha) e a composição colorida normal (canais 4, 5 e 7 e cores azul, verde e vermelha), apresentaram os melhores desempenhos, com informações complementadas pelos realces por Componentes Principais. Os produtos "ratios" foram os que apresentaram maiores ambiguidades nas discriminações, com desempenhos inferiores aos Com

ponentes Principais.

Os dados analisados da passagem da época seca, não foram por si sô suficientes para exprimir as diferenças litolôgicas na área, sendo valiosa a contribuição da abordagem multitemporal.

Espera-se que com os aperfeiçoamentos futuros nos sensores do Landsat 4 e com melhoramentos nas técnicas de tratamento digital, a abordagem aqui realizada, possa ser, com sucesso, aplicada em regiões com outras condições ambientais.

ABSTRACT

Spectral and multitemporal informations detected by computer enhanced Landsat - MSS 3, were evaluated within the context of lithological discrimination in a semi-arid tropical region of the northeast of Brazil.

The chosen area (lower Valley of Curaçã River, State of Bahia), is made up of low to high grade Archean/Proterozoic metamorphic rocks, and constitutes part of the important copper province of the Curaçã Valley, located 100 Km north of the Caraíba Copper Mine.

The vegetation is represented by the "caatinga", typical of the Brazilian semi-arid region and which have varying cover density and marked seasonality. The occurrence of outcrops or exposed rocks is small.

The techniques used, including (1) linear contrast stretch, (2) contrast stretched color composites, (3) band-ratioing and (4) Principal Components, make it possible to emphasize subtle differences in the spectral reflectance of the surface, good indicators of geobotanical controls given by variations in the vegetation cover and the changes in the residual soil compositions well correlated to the lithological variations of the substratum. The observed brightness and tonal patterns correspond exceptionally well to the lithological units mapped by conventional geological methods in the 1:50.000 scale and provided, additionally, new contributions to the geological understanding of the area.

The spectral measurements, collected in situ for the surface conditions of the units and in the laboratory for the soil samples, showed to be compatible to the data registered by the Landsat - MSS CCTs and provided subsidies to the understanding of the causes of the variations in the registered spectral data.

An analysis of the visual performance of the enhanced products for lithological discrimination was performed utilizing criterion of spectral attributes selection (JM distance).

A visual comparison of the data expressing geological information obtained from the enhancements showed that the hybrid product (Bands 4, 5/7 and 7 associated to green, blue and red colors, respectively), and a standard color composition (Bands 4, 5 and 7 associated to blue, green and red, respectively) had the best performance, with information being complemented by the Principal Components enhancements.

The band-ratio products were the ones presenting greater ambiguity in the discriminations, with a performance inferior to the Principal Components.

The analysis of the data from the dry season was not sufficient by itself in expressing the lithological differences, but the multitemporal approach was of great value.

With future sensor improvements in Landsat 5 and betterment of digital treatment techniques, it is expected that the approach utilized in this study can be applied with success in regions with other ambiental conditions.

AGRADECIMENTOS

Por ser uma pesquisa que contou com fontes de dados multidisciplinares, vários foram os organismos e pessoas que, decisivamente, colaboraram para que a investigação fosse concretizada.

Inicialmente, devo expressar o reconhecimento ao orientador da pesquisa, Dr. Gilberto Amaral, do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (IGUSP) e ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), pelos suportes financeiro e material fornecidos, vitais para que o trabalho pudessem ser realizados.

Aos companheiros da Caraíba Metais S/A, geólogos Pêrsio Mandetta, José Acúrcio C. de Moraes e Newton D. Franke, pela receptividade, incentivo, auxílio nas verificações de campo e pelas muitas idéias trocadas nos afloramentos e escritório, essenciais para a viabilização da pesquisa. Este agradecimento é extensivo também à Caraíba Metais S/A, pelo apoio logístico e facilidades de estadia no Vale do Curaçá, fornecimento de material bibliográfico e suporte, em parte, das análises e descrições petrográficas.

À equipe do Dr. Rudolph A. J. Trouw, do Depto. de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IGUFRJ), nas figuras de Salvador J. Chrispim e Mônica L. Heilbron, pelas análises e descrições de seções delgadas.

Aos geólogos Inácio de M. Delgado e João Dalton de Souza, da Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais (CPRM - Salvador) e Zara G. Lindenmayer, da Rio Doce Geologia e Mineração (DOCEGEO - Rio de Janeiro), pelas trocas de idéias, sugestões e material bibliográfico fornecido.

Aos Drs. Sylvio de Q. Mattoso e Pedro Linhares, da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e Liovando Marciano da Costa, da Universidade de Viçosa, Depto. de Solos, pelas discussões e sugestões propostas, e pelo incentivo no transcorrer do trabalho.

Aos Drs. Adolpho J. Melfi, do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAGUSP); Bôris Volkoff, da Office de La Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer (ORSTROM - França) e José P. de Queirós Neto, do Depto. de Geografia da USP, pelas idéias e sugestões formuladas na investigação.

Aos colegas do Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido (CPATSA), Drs. Luíís E. Mantovani e Evaristo E. de Miranda, pelas facilidades em Petrolina, apoio nas verificações pedológicas e florísticas, comentários, sugestões e revisão final dos manuscritos.

Ao pedólogo Gilles R. Riché (ORSTROM - França), pelo auxílio nas caracterizações e descrições pedológicas na área, críticas e sugestões, e participação na revisão final do texto.

Ao botânico George Fortius (ORSTROM - França) e à pós-graduanda Maria de Fátima Araújo (Universidade Federal de Pernambuco), pelo apoio nos levantamentos e descrições florísticas, com participações fundamentais para que o enfoque "cobertura vegetal", na área, pudesse ser abordado.

Ao Dr. Michikazu Fukuhara, da Universidade de Chiba - Japão, pelas facilidades no empréstimo do radiômetro portátil, viabilizando a espectroscopia de campo.

À física Rossana Bandones, responsável pelos dados espectrorradiométricos de laboratório, no INPE.

Ao "staff" do LTID (Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais) do INPE/São José dos Campos, engenheiros Ricardo C. M. de Souza, Luciano V. Dutra, Fernando A. M. Ii e analista José C. Moreira, pelas facilidades, apoio e discussões nos processamentos digitais das imagens Landsat. Este conhecimento é também extensivo ao colega Gilberto Câmara Neto, da Divisão de Processamento de imagens/Depto. de Informática do INPE, pelas inúmeras discussões, sugestões e participação na revisão final dos manuscritos.

À Dra. Maria Tereza C. Cunha e à MSc. Lucila T. G. Pessoa, do Centro Técnico Aeroespacial, Instituto de Pesquisas e Desenvolvimento (CTA-IPD), pela dedicação demonstrada no acompanhamento e discussões das análises químicas. Este agradecimento é também extensivo ao Centro Técnico Aeroespacial (CTA-IPD), pelo suporte na realização de parte das análises químicas.

À Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA/CPATSA), pelas facilidades na efetuação de análises físico-químicas de amostras de solos e apoio nos trabalhos de campo.

Ao Major Carlos A. P. Rôlla, do IV Comando Aéreo Tático (IV COMAT - Rio de Janeiro), pela intercessão e apoio na aquisição das fotos aéreas pancromáticas, junto à Força Aérea Brasileira.

Ao estagiário Moacir Godoy Jr., responsável pelos gráficos do CALCOMP e ao desenhista Paulo R. Barreto, o reconhecimento pelas artes gráficas do trabalho.

Aos companheiros de trabalho no INPE, Mário Valério Filho, José C. N. Epiphânio e Antonio R. Formaggio, pelo estímulo, participação e sugestões no trabalho e na revisão do texto final.

Um reconhecimento especial deve ser feito aos companheiros Dr. Ícaro Vitorello, Paulo R. Meneses e Juércio T. de Mattos, pela inestimável cooperação nesta pesquisa, representada pelo auxílio e companhia nas missões de campo, participação nas análises visuais dos realces e interpretação de fotografias aéreas, discussão sobre os vários aspectos abordados e revisão cuidadosa do texto.

Finalmente, pelo clima de participação criado, apoio e sobretudo pela incomensurável paciência, neste período atribulado, um enorme obrigado à Marlene, Evelise e Thaís.

LISTA DE FIGURAS

	PAG.
Figura 1.1 - Comportamento espectral de limonita, goethita e hematita para o intervalo de 0,5-2,5 μm , segundo Conel et alii (1978)	5
Figura 2.1 - Diagrama de assinatura espectral de minerais, com a localização das principais feições diagnósticas	13
Figura 2.2 - Representação esquemática das áreas ocupadas por padrões de reflectância espectral para rochas ígneas ácidas, intermediárias e básicas	15
Figura 2.3 - Campos ocupados por padrões de reflectância espectral para rochas ígneas ácidas, básicas e ultrabásicas	15
Figura 2.4 - Tipo I de curva espectral de solo	19
Figura 2.5 - Tipo II de curva espectral de solo	19
Figura 2.6 - Tipo III de curva espectral de solo	19
Figura 2.7 - Tipo IV de curva espectral de solo	19
Figura 2.8 - Tipo V de curva espectral de solo	19
Figura 2.9 - Curva de reflectância espectral característica de uma folha verde	21
Figura 3.1 - Bloco diagrama de superfície, mostrando a variação de diferentes orientações topográficas entre dois "pixels" de um mesmo material	26
Figura 3.2 - Sistema GE Image-100 do INPE/CNPq - São José dos Campos/SP	29
Figura 3.3 - Função de transferência para uma Ampliação Linear de Contraste	31
Figura 3.4 - Transformação por Componentes Principais (CP)	35
Figura 4.1 - Localização da área	37
Figura 4.2 - Modelo Geotectônico para a Bahia	40
Figura 4.3 - Geologia simplificada do Nordeste da Bahia, com a localização da área de pesquisa	45
Figura 4.4 - Geologia do Baixo Vale do Curaçá, Bahia	57
Figura 5.1 - Fluxograma das etapas seguidas em uma abordagem espectral/temporal, visando discriminações litológicas com técnicas de realce de imagens digitais MSS-Landsat	60

Figura 5.2 - Histogramas normalizados dos 4 canais MSS-Landsat da área-teste	62
Figura 5.3 - Novos histogramas, obtidos pela aplicação de Realces por Ampliação Linear de Contraste, nos 4 canais do Baixo Vale do Curaçã	63
Figura 5.4 - Canal 4 do Landsat, realçado por A.L.C.	64
Figura 5.5 - Canal 5 do Landsat, realçado por A.L.C.	65
Figura 5.6 - Canal 6 do Landsat, realçado por A.L.C.	66
Figura 5.7 - Canal 7 do Landsat, realçado por A.L.C.	67
Figura 5.8 - Composição Falsa-Cor (época seca) do Baixo Vale do Rio Curaçã, BA	71
Figura 5.9 - Canal MSS 4/5 - época seca, realçado por A.L.C.	79
Figura 5.10- Canal MSS 4/6 - época seca, realçado por A.L.C.	80
Figura 5.11- Canal MSS 4/7 - época seca, realçado por A.L.C.	81
Figura 5.12- Canal MSS 5/6 - época seca, realçado por A.L.C.	82
Figura 5.13- Canal MSS 5/7 - época seca, realçado por A.L.C.	83
Figura 5.14- Canal MSS 6/7 - época seca, realçado por A.L.C.	84
Figura 5.15- Relação empírica de comportamento espectral, obtida para as unidades TN Bogó, TN Banguê e RC Cachoeira, da análise dos canais originais e "ratios"	87
Figura 5.16- Composição Colorida com 3 canais "ratio": MSS 4/5 com azul + MSS 5/6 com verde + MSS 6/7 com vermelho	89
Figura 5.17- Histograma dos 4 Componentes Principais, da imagem época seca, do Baixo Vale do Rio Curaçã	94
Figura 5.18- Primeiro Componente Principal da época seca, com 94,7% de informação das imagens originais e realçado posteriormente por A.L.C.	95
Figura 5.19- Segundo Componente Principal, com 3,0% da informação original e realçado por A.L.C.	96
Figura 5.20- Terceiro Componente Principal, com 1,3% da informação original e realçado por A.L.C.	97
Figura 5.21- Quarto Componente Principal, apresentando menor relação sinal/ruído, 1,0% da informação original e realçado por A.L.C.	98
Figura 5.22- Composição colorida de 3 Componentes Principais dos canais MSS-Landsat, do Baixo Vale do Curaçã, BA	101

Figura 6.1 - Composição Falsa-Cor (época chuvosa), do Baixo Vale do Rio Curaçá, BA	103
Figura 6.2 - "Ratio" 5/6 da época chuvosa, realçado por A.L.C.	106
Figura 6.3 - "Ratio" 4/7 da época chuvosa, realçado por A.L.C.	108
Figura 6.4 - "Ratio" 6/7 da época chuvosa, realçado por A.L.C.	109
Figura 6.5 - Componentes Principais da época chuvosa, dos canais Landsat do Baixo Vale do Rio Curaçá, BA	113
Figura 7.1 - Localização de amostragens na área	117
Figura 7.2 - Paisagem da Unidade Tanque Novo Banguê, caracterizada por pediplano de ondulação suave	121
Figura 7.3 - Lajedos e "inselbergs" que ocorrem a NE da Serra Redonda, ao fundo, a Serra da Cana Brava	126
Figura 7.4 - Afloramento de migmatitos na região da Baixa das Tia-beiras, borda oriental da área de estudo (unidade de gnaisses quartzo-feldspáticos/biotita-gnaisses)	127
Figura 7.5 - Paisagem típica da Unidade Migmatítica RC Cachoeira ...	129
Figura 7.6 - Contato ocidental da Unidade RC Cachoeira (solo amarelado) com TN Banguê (solo acinzentado)	131
Figura 7.7 - Silicificação, milonitização e presença de filonitos verticais, atestando falhamento na zona de contato entre RC Cachoeira/TN Banguê, da Figura anterior	132
Figura 7.8 - Biotita-hornblenda-gnaisse típico de TN Banguê	133
Figura 7.9 - Migmatito RC Cachoeira com estrutura "schlieren" e "folded"	133
Figura 7.10- Aspecto da superfície representativa da unidade mármore/calcário do Grupo Canudos (GCmc)	135
Figura 7.11- Contato entre as unidades calcário/mármore (GCmc) com gnaisse (TN Banguê)	135
Figura 7.12- Blocos de mica-xistos e calhaus de quartzo ferruginosos da Unidade GCfx, a oeste da Fazenda Ipiranga	136
Figura 7.13- Cobertura de caatinga na Unidade GCfx, estrada Fazenda Melancia para Curaçá	137
Figura 7.14- Perfil de um Bruno não Cálculo Vértico sobre hipertênio - gnaisse (Unidade Tanque Novo Banguê)	140
Figura 7.15- Perfil de um Bruno não Cálculo Planossólico ligeiramente Vértico, desenvolvido sobre migmatitos a biotita (Unidade RC Cachoeira)	141

Figura 7.16-	Perfil de um Planossolo originário de mica-xistos do Grupo Canudos	143
Figura 7.17-	Perfil de um Planossolo Vértico sobre quartzo-feldspato-gnaiss (Unidade Tanque Novo Bogô), 2 Km a oeste da Fazenda Campo Formoso	144
Figura 7.18-	Perfil de um Latossolo Amarelo Eutrófico, desenvolvido sobre calcário metamórfico do Grupo Canudos	146
Figura 7.19-	Perfil de um Litólico, desenvolvido sobre filitos do Grupo Canudos	147
Figura 7.20-	Perfil de um Rendzina Carbonatada - B Carbonático, desenvolvido sobre o calcário secundário da Formação Caatinga	149
Figura 7.21-	Relação Ca^{++}/Mg^{++} segundo os horizontes A, B e C dos vários perfis pedológicos	153
Figura 7.22-	Hierarquização dos perfis pedológicos, segundo o conteúdo de ferro total do horizonte A	155
Figura 7.23-	Relação entre os valores de soma das bases do horizonte B e o teor de ferro total do horizonte A para solos mais comuns dos metamorfitos de alto grau do Grupo Caraíba	157
Figura 7.24-	Relação entre o conteúdo de Ca^{++} do horizonte B e o teor de ferro total do horizonte A para os solos mais comuns do Grupo Caraíba	158
Figura 7.25-	Esquema utilizado para a obtenção de medidas radiométricas no campo	170
Figura 7.26-	Perfis de reflectância espectral de campo para 9 medidas na Unidade TN Bogô (pontilhado); 6 medidas na Unidade Gnáissica "Oriental" (tracejado) e 4 medidas em um Vertissolo de gabro (traço e ponto)	174
Figura 7.27-	Espectros de reflectância de campo com seus respectivos desvios-padrões para as Unidades TN Banguê (traço e ponto e tracejado) e área de migmatização/granitização (pontilhado), próxima à Fazenda Harmonia	176
Figura 7.28-	Perfis espectrais "in situ" para a Unidade RC Cachoeira, sendo em pontilhado, 7 medidas tomadas na área da Fazenda Monte Alegre; em tracejado, 7 medidas realizadas nas cabeceiras do riacho Ligeiro e em traço e pon	

	to, 6 medidas efetuadas ao sul da Lagoa Seca	178
Figura 7.29-	Espectros de reflectância de campo para medidas na Unidade GCmc, sendo: em tracejado = 5 medidas em calcário; em pontilhado = 2 medidas em filitos e em traço e ponto = 2 medidas em mica-xistos	180
Figura 7.30-	Espectros de reflectância de campo para as unidades: gabro = linha contínua (inferior), gnaisses granulíticos TN Banguê = traço e ponto; gnaisse "oriental" = tracejado; gnaisse TN Bogô = pontilhado; mármore/calcário GCmc = linha contínua (superior)	182
Figura 7.31-	Espectros de reflectância de campo para as unidades: GCmc = linha contínua (superior); RC Cachoeira = traço e ponto; TN Bogô = pontilhado; gnaisse "oriental" = tracejado (superior); TN Banguê = linha contínua (inferior) e gabro = tracejado (inferior)	183
Figura 7.32-	Configuração do sistema de equipamentos montado para a obtenção das medidas espectrorradiométricas das amostras de solos, em laboratório	186
Figura 7.33-	Espectros de reflectância em laboratório, para amostras de solos das Unidades TN Bogô (pontilhado) e gnáissica "oriental" (linha contínua).....	188
Figura 7.34-	Espectros de reflectância em laboratório para a Unidade TN Banguê (traço e ponto) e área de migmatitos da Fazenda Harmonia (linha contínua)	189
Figura 7.35-	Espectros de reflectância em laboratório para a unidade migmatítica RC Cachoeira	191
Figura 7.36-	Espectros de reflectância em laboratório para a Unidade GCmc (tracejado) e GC filito (linha contínua)	193
Figura 7.37-	Espectros de reflectância em laboratório para as unidades: TN Banguê (linha contínua inferior); RC Cachoeira/sul de Lagoa Seca (traço e ponto); RC Cachoeira/Riacho do Ligeiro (tracejado); TN Bogô (pontilhado); RC Cachoeira/Monte Alegre (linha contínua superior)	195
Figura 8.1 -	Localização das 14 classes temáticas com suas respectivas áreas de amostragens, para o teste de seleção de atributos com o programa SELATR	200
Figura 8.2 -	Híbrido indicado pelo 1º critério de Distância JM ²	

	(canais 5/7, 7 e 4, com as cores azul, vermelho e verde, respectivamente).....	208
Figura 8.3 - Unidades litológicas discriminadas no Baixo Vale do Rio Curaçá, Bahia, através de realces por computador, de dados digitais MSS-Landsat, integrados com dados prévios e de campo.....		213

LISTA DE TABELAS

	PAG.
Tabela 5.1 - Precipitação em mm na Estação Meteorológica de Bebedouro/PE do CPATSA/EMBRAPA, durante o período de jan/1978 a fev/1979	59
Tabela 5.2 - Parâmetros utilizados para os dados "ratio" da área estudada	78
Tabela 5.3 - Matriz dos coeficientes de correlação para o Baixo Vale do Curaçã, BA, canais originais, época seca	91
Tabela 5.4 - Matriz de Covariância/Variância para a região do Baixo Vale do Curaçã, BA	91
Tabela 5.5 - Matriz dos Auto-Vetores, após Componentes Principais para a Matriz da Tabela 5.4	91
Tabela 5.6 - Auto-Valores e % de informação associada a cada canal transformado ou Componente Principal	92
Tabela 6.1 - Parâmetros utilizados na transformação não linear "ratio" dos canais originais, da época chuvosa da área estudada	105
Tabela 6.2 - Matriz dos coeficientes de correlação dos canais originais MSS-Landsat, do Baixo Vale do Rio Curaçã (época chuvosa)	110
Tabela 6.3 - Matriz de covariância dos canais originais Landsat da época chuvosa	111
Tabela 6.4 - Matriz de Auto-Vetores ou de Transformação para os dados da Tabela 6.2	111
Tabela 6.5 - Componentes Principais dos canais MSS-Landsat, do Baixo Vale do Curaçã, com as respectivas percentagens de informação	111
Tabela 7.1 - Constituintes mineralógicos das amostras analisadas microscopicamente	118
Tabela 7.2 - Dados de análises químicas e de cor a seco (Tabela Munsell) dos perfis pedológicos, descritos na área ...	150
Tabela 7.3 - Características dos pontos de medidas radiométricas de campo	173
Tabela 8.1 - 1º critério JM ² para 4 canais originais Landsat	202

Tabela 8.2 - 2º critério JM ² para 4 canais originais Landsat	202
Tabela 8.3 - 1º critério JM ² para 6 canais "ratios" Landsat	203
Tabela 8.4 - 2º critério JM ² para 6 canais "ratios" Landsat	203
Tabela 8.5 - 1º critério JM ² para 4 canais originais + 6 "ratios" ..	204
Tabela 8.6 - 2º critério JM ² para 4 canais originais + 6 "ratios" ..	204
Tabela 8.7 - Análise do desempenho visual dos 4 canais originais e 6 "ratios", em discriminação litológica das classes da Figura 8.1	206
Tabela 8.8 - Desempenho das melhores composições coloridas, na discriminação litológica do Baixo Vale do Rio Curaçã, com imagens MSS-Landsat, utilizando-se 26 classes de litologias	211

"There is more data in a Landsat image than meets the eye. Approximately 50 million bits of information are contained in one band of a Landsat MSS image. Only about one fourth of the data in a single band can be displayed at one time on a black and white image. Therefore when all 4 bands are considered only about 7% of the available data can be utilized by the interpreter. The following discussion will outline some of the techniques available for making use of the remaining 93% of the data".

Goetz & Billingsley, 1973.

CAPÍTULO 1

PROPÓSITOS DA PESQUISA

1.1 - Introdução

A complexidade dos problemas tratados em investigações geológicas, requer observações em diferentes escalas.

Dentro de uma conotação evolutiva, pode-se afirmar que a Geologia, em sentido amplo, avançou inicialmente a partir de observações em nível mesoscópico (amostras de mão, afloramentos, paisagem), passou a contar com dados valiosos em nível microscópico (secções delgadas, micro - sonda, etc) e somente atingiu a escala megascópica com o advento inicialmente das fotos aéreas, posteriormente com os mosaicos de radar e mais modernamente, com os dados de satélite, i. e, através do sensoriamento remoto.

Obviamente, cada escala de observação está intimamente relacionada, sendo que idealmente, as observações megascópicas tenderiam a fornecer o contexto para direcionar os estudos de maior detalhe. Esta sequência, convém salientar, é essencialmente oposta àquela utilizada em abordagens geológicas tradicionais, que ainda hoje parcialmente persistem, onde trabalhos de detalhe são conduzidos, antes que os traços regionais estejam delineados.

A nível megascópico, os usos e aplicações com fotografias aéreas em Geologia, foram difundidos e explorados. O mesmo não ocorreu com os dados de satélite, cujo acervo de informações não tem sido muito utilizado.

Neste aspecto, a quantidade de informação contida nestas imagens é significativa. Para cobrir 35.000 Km² de uma cena MSS*-Landsat, são necessários mais de 7,5 milhões de "pixels"** que, convenientemente analisados, fornecem dados valiosos dos atributos espaciais, espectrais e temporais de alvos de interesse geológico.

Um atributo é uma propriedade que pode ser mensurada. Assim, os níveis de cinza em uma imagem podem ser relacionados ao atributo espectral, na medida em que tais níveis relacionam-se à variações de reflectância no terreno. O interrelacionamento de um "pixel" com seus vizinhos mais próximos, é também um tipo de informação valiosa, ligada aos atributos espaciais

*MSS - Multispectral Scanner: varredor multispectral

**pixel - unidade de informação da imagem, correspondendo a um quadrado de 57 x 79 metros do terreno.

(geometria/forma de alvos). A variação da informação espacial e espectral em imagens de épocas distintas, configura o atributo temporal dos alvos.

No Brasil, a ênfase inicial de abordagem geológica com dados Landsat, esteve dirigida à utilização do atributo espacial, representada por estudos estruturais-tectônicos e mapeamentos geológicos regionais (Amaral, 1974; Liu et alii, 1975; Oliveira et alii, 1976; Soares et alii, 1981).

Tal fato ocorreu, basicamente, por dois motivos. Primeiro, pela possibilidade da visão sinóptica inerente a estas imagens, permitindo inferências sobre descontinuidades e heterogeneidades litológicas, apoiadas nas distintas feições morfológicas do relevo e arranjos de padrões de drenagens. Segundo, era também natural que estes estudos fossem baseados nos esquemas interpretativos, desenvolvidos e bem sucedidos da experiência da comunidade geológica, de trabalhos com fotos aéreas, fundamentalmente baseados na extração e análise de elementos de drenagem e relevo (Riverau, 1972; Soares e Fiori, 1976).

Deste modo, as pesquisas sobre a utilização da informação espectral nestas imagens, sempre foram pouco exploradas, quando não desconsideradas. Várias outras razões contribuíram para este quadro. A começar, pelo quase desconhecimento que existe sobre fatores que afetam a radiação de cenas e, em particular, o comportamento espectral de rochas, de seus produtos de alteração e da associação "rocha-solo-vegetação" em ambiente tropicais, que poderiam ser ponto de partida para o entendimento dos padrões tonais, presentes nas imagens multispectrais de satélite. Também, a natureza sutil destas respostas e a quantidade elevada de informação coletada, obrigando ao uso de computadores especiais e, conseqüentemente, a familiarização com técnicas de tratamento de imagens no meio geológico, têm restringido sobremaneira a exploração do atributo espectral, na pesquisa geológica no país.

Assim, uma subutilização destes dados ainda ocorre, na medida em que somente agora, estudos básicos sobre discriminações espectrais e temporais de alvos em imagens, no campo/laboratório, de ambientes tropicais, são iniciados quando já se transcorreu mais de uma década do advento do sensoriamento remoto orbital.

É sobre este aspecto básico, ou seja, em que nível é possível detectar e discriminar unidades litológicas, através da análise de características espectrais e temporais, de imagens MSS do satélite Landsat de um ambiente tropical semi-árido, no Nordeste brasileiro, que reside todo o esforço que motivou esta pesquisa.

1.2 - As características da pesquisa

A possibilidade de discriminação espectral de unidades litológicas e seus produtos de alteração, é baseada na presença de contrastes nas reflectâncias relativas, registradas em cada um dos 4 canais MSS-Landsat. Maiores detalhes sobre o Programa Landsat, são encontrados no Capítulo 3.

A dificuldade em se identificar litologias nestas imagens, usando-se apenas a reflectância espectral, é originada por vários fatores:

a) em quase todos os ambientes, as rochas apresentam-se com variados graus de intemperismo, especialmente em condições tropicais, tipificadas pela presença de expressivos perfis de alteração, nem sempre correlacionados com a litologia subjacente. Em virtude dos fenômenos de reflexão da energia solar ocorrerem nos microns superiores da superfície dos materiais, os dados coletados pelo Landsat, têm uma enorme desvantagem diante das observações diretas, feitas no terreno, onde se pode dispor de amostras com superfícies frescas, ideais para propósitos de identificação.

b) a cobertura vegetal contribui significativamente para obliterar o aparente contraste de reflectância detectado pelas imagens, especialmente nas bandas do infravermelho próximo (canais 6 e 7 do Landsat), onde a reflectância da vegetação "verde" pode exceder a resposta de rochas e solos por um fator de duas ou mais vezes. Além disto, a atividade antrópica, descaracterizando as condições naturais superficiais, dificulta em vários níveis, a discriminação entre alvos litológicos, através de imagens. Entretanto, em alguns casos, tratando-se de vegetação natural, heterogeneidades de densidade de cobertura vegetal, podem estar associadas às variações composicionais do substrato (Raines and Canney, 1980).

c) a resolução espacial do MSS-Landsat é grosseira, quando comparada com as dimensões de alguns corpos (diques, por exemplo) ou zonas de afloramentos. Em virtude dos detectores do MSS-Landsat integrarem a resposta espectral de toda a superfície correspondente ao elemento de resolução ou "pixel" (0,62 ha de área), pequenas parcelas de afloramentos de rochas ou exposição de seus produtos de alteração, tendem a ser mascaradas pela contribuição inevitável da reflectância do "background" (vegetação, atividade antrópica, drenagem, coberturas aluviais, solos coluviários, etc.).

d) a reflectância espectral de rochas é fortemente afetada pela abundância e estado de oxidação do ferro, como será discutido com mais detalhes, pos-

teriormente. A classificação litológica clássica no terreno, é realizada com base principalmente na textura e mineralogia, independentemente da abundância média de ferro presente. Também unidades litológicas, em vários casos, são definidas e classificadas com base na granulometria, textura, padrões estruturais (como em migmatitos), conteúdo fossilífero, etc., indicadores obviamente desconsiderados na abordagem espectral.

e) a resolução espectral do MSS-Landsat também é pobre e as larguras das 4 bandas não são idealmente localizadas, para a detecção de feições espectrais diagnósticas, exibidas por rochas e minerais de alteração. Baseados, por exemplo, nos dados de Conel et alii (1978), hematita e goethita, minerais comuns de óxidos de ferro, usados como guia em pesquisa mineral, poderiam ser separáveis através de 2 ou 3 discretas bandas dispostas adequadamente, na faixa do infravermelho próximo (Figura 1.1), os quais são confundidos pela grande largura da sensibilidade da faixa atual do canal 7 (0,3 μm).

f) diferenças no relevo favorecem sombreamentos e provocam variações nas condições de iluminação dos "pixels" de um mesmo corpo, influenciando no valor da radiância coletada pelos detectores do Landsat (Kowalik et alii, 1980). Também, em virtude de efeitos provocados por diferentes granulometrias de minerais em rochas, uma mesma associação litológica, pode mostrar considerável variabilidade nos valores de reflectância espectral, nas bandas do visível e infravermelho próximo. Estes inconvenientes podem em parte ser minimizados, através do uso da técnica de divisão de canais ou "band-ratio" (Smedes et alii, 1971; Vincent, 1973; Hunt and Salisbury, 1978).

g) em virtude da energia refletida pela superfície, ter que transpor uma extensa trajetória atmosférica (mais de 900 Km), até atingir os detectores do sensor, os valores de radiância registrados, são também afetados pelo espalhamento atmosférico. Os efeitos desta influência podem ser minimizados através de diferentes técnicas de correções atmosféricas (Vincent, 1973; Chavez Jr., 1975; Goetz and Billingsley, 1973), embora alguns autores como Rowan et alii (1974 e 1977) tenham preferido utilizar dados originais, sem correções prévias, em investigações geológicas.

Esta série de limitações, entretanto, não inviabiliza a utilização da análise espectral na discriminação litológica. Unidades com dife-

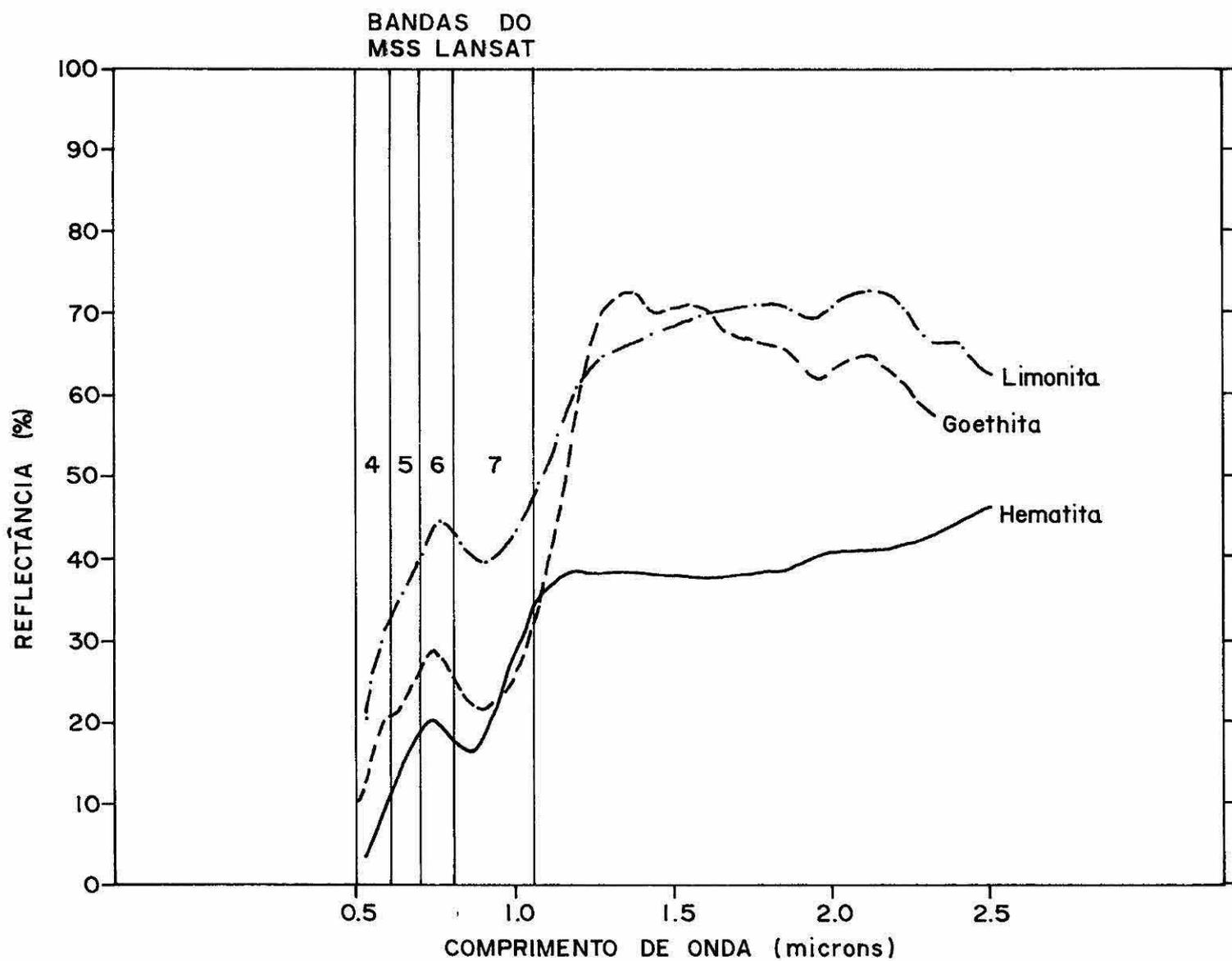


Figura 1.1

Comportamento espectral de limonita, goethita e hematita, para o intervalo de 0,5-2,5 μm , segundo Conel et alii (1978)

renças marcantes em albedos*, tais como basaltos e rochas ácidas, raramente são confundidas em imagens Landsat, mas unidades litológicas com albedos intermediários, não podem comumente ser separadas em uma simples análise visual, necessitando-se da utilização de técnicas de realce de imagens por computador, para que diferenças sutis sejam ampliadas, enfatizadas e detectadas.

Tal fato tem determinado que a totalidade dos trabalhos de discriminações litológicas ou pesquisa mineral, através da análise espectral, faça uso de técnicas de tratamento por computadores de imagens, divididas em dois campos de atuações:

- a) técnicas de realces, que visam aplicar transformações matemáticas aos dados originais, objetivando destacar informações espectrais e melhorar a qualidade visual da imagem, para facilitar uma posterior análise do fotointérprete;
- b) técnicas de classificações temáticas, que procuram agrupar nas cenas, alvos com similaridades em suas respostas espectrais registradas. Maiores detalhes sobre fundamentos de técnicas de processamento de imagens, são apresentados no Capítulo 3.

Em aplicações geológicas, técnicas de realce de imagens têm sido muito mais bem sucedidas, principalmente pelo fato de possibilitar ao analista, a integração da informação espectral realçada com as informações espaciais dos alvos, ao passo que esquemas classificatórios disponíveis até o momento, só levam em conta os valores de níveis de cinza dos materiais.

Um dos primeiros estudos que utilizou as técnicas de realce em discriminações litológicas e pesquisa mineral, foi desenvolvido por Vincent (1973), através de divisões de canais Landsat, no mapeamento de exposições de rochas e sequências ferríferas de interesse econômico, do Distrito de Atlantic City, Wyoming.

Rowan et alii (1974 e 1977) demonstraram, através de dados MSS-Landsat realçados, ser possível discriminar zonas de ocorrências de rochas alteradas e não-alteradas hidrotermalmente, em ambiente desértico do Nevada. Basicamente, as diferenças mineralógicas entre as litologias, causaram distintos comportamentos no espectro de reflectância das rochas do visível

*albedos - designa a reflectância radiante total dos objetos naturais. (Reeves et alii, 1975)

ao infravermelho próximo, passíveis de detecção através de composições coloridas, usando-se divisão de canais com ampliação linear de contraste ("Stretched Band-Ratio Color Composites").

Goetz et alii (1975) também conseguiram bons resultados na discriminação de unidades rochosas, baseadas em análises de discrepâncias de reflectância, relativas à cada banda MSS-Landsat, utilizando-se de várias técnicas de tratamento digital em áreas do "Plateau" do Colorado e Vale Verde, no Arizona.

Fontanel et alii (1975) e Santisteban e Munoz (1977) publicaram resultados, utilizando-se análises visuais de composições coloridas dos Componentes Principais de imagens MSS-Landsat, em estudos de discriminações litológicas, no sul da França e no centro da Espanha, respectivamente.

Rowan e Abrams (1978) basearam-se também em divisões de canais MSS-Landsat realçados, para detectar diferenças de reflectância espectral entre as mais comuns ocorrências de rochas alteradas e não-alteradas, hidrotermalmente, em Utah. A correlação entre as áreas delimitadas como indicativas de rochas limonitizadas, nas imagens realçadas e as constantes, em mapas geológicos prévios, foi elevada, exceto para áreas com cobertura vegetal.

Birnie e Dykstra (1978), utilizando-se de técnicas de Componentes Principais de imagens Landsat, conseguiram bons resultados no mapeamento geológico, em escala de reconhecimento, e indicação de zonas de alteração hidrotermal, de áreas desérticas nas colinas Chagai, no Paquistão.

Blodget et alii (1978) testaram várias técnicas de realce de imagens Landsat, incluindo Divisão de Canais, Componentes Principais e Análise Canônica, conseguindo resultados expressivos na discriminação de litologias e zonas de "gossans", em ambientes favoráveis da Península Arábica, caracterizados pela presença de rochas inalteradas e ausência generalizada de vegetação.

No Brasil, resultados em pesquisa mineral, utilizando-se classificações temáticas com dados MSS-Landsat, foram obtidos por Paradella et alii (1979), com a definição de áreas de ocorrência de ilmenita primária, na região de Floresta, PE. Em discriminações litológicas, Paradella et alii (1982) conseguiram delinear a disposição de várias sequências metassedimentares na Serra do Ramalho, BA, em níveis superiores a mapas de reconhecimento geológico, através de técnicas de realces de imagens MSS-Landsat.

No que se refere à utilização de classificações temáticas em mapeamentos litológicos, muito embora vários trabalhos sejam conhecidos (Melhorn and Sinnock, 1973; Lawrence and Herzog, 1975; Schmidt, 1975; Francica et alii, 1980), os resultados de Siegal e Abrams (1976), quando testaram três algoritmos classificatórios com dados Landsat, no Arizona, representam a mais importante contribuição neste campo. Segundo estes autores, a incapacidade dos vários esquemas classificatórios, de retratar corretamente as unidades litológicas existentes, reflete tanto a similaridade de suas assinaturas espectrais nas bandas do MSS-Landsat, quanto os efeitos da heterogeneidade espectral das unidades, mascaradas por fatores como solos transportados e cobertura vegetal.

Embora à primeira vista, a vegetação possa ser considerada como um empecilho, a análise de seus padrões de densidade através de imagens Landsat realçadas, pode fornecer resultados valiosos das características composicionais do substrato, com os obtidos por Lyon (1975), Bølviken et alii (1975) e Raines et alii (1978).

Dentro desta linha de abordagem, i. e., levando-se em conta os efeitos da cobertura vegetal, porém aproveitando-se das características de repetitividade de recobrimento do Landsat, algumas contribuições têm sido publicadas, sobre a utilização do atributo temporal, em aplicações geológicas. Resultados significativos em discriminações litológicas, têm sido conseguidos pela análise conjunta de imagens realçadas de épocas diferentes, como os apresentados por Grootenboer (1973) e Levine (1975).

Da análise das publicações mais relevantes sobre discriminações de tipos litológicos com imagens Landsat, fica claro, que os melhores resultados foram obtidos, inegavelmente, em condições ambientais favoráveis, i. e., extensas exposições de rochas, pouca alteração intempérica, relevo não muito acidentado e, principalmente, com ausência de cobertura vegetal.

Como tais condições não são comuns em nosso ambiente geológico, julgou-se oportuno como tema de pesquisa, avaliar em que extensão, padrões de reflectância detectados pelo Landsat, para o Baixo Vale do Rio Curaçã, no Estado da Bahia, poderiam ser utilizados dentro do enfoque de discriminar unidades litológicas, as quais são, na região, razoavelmente conhecidas e cartografadas na escala 1:50.000.

Toda essa informação espectral, conseguida através de realces de processamento de imagens, representa respostas ligadas à interação, em diferentes níveis, da presença de afloramentos, produtos de alteração de ro-

chas, solos e vegetação natural de caatinga.

Tais padrões de reflectância são representativos de unidades geológicas, comuns em vastas regiões do "embasamento cristalino" no NE brasileiro, servindo como base inicial para abordagens futuras, com vistas à discriminações litológicas com outros tipos de sensores, tais como os previstos no Landsat 4 e SPOT.

Várias técnicas de realces foram analisadas, procurando-se utilizar toda a gama de opções, atualmente disponíveis no país e algumas regras gerais foram estabelecidas, visando-se futuras aplicações de processamento digital de imagens em outras regiões.

Devido ao fato da área escolhida apresentar marcante sazonalidade, como complemento da pesquisa, procurou-se avaliar a contribuição da análise multitemporal, dentro do contexto de discriminação geológica.

Como subsídio ao entendimento dos contrastes conseguidos, buscou-se levantar o interrelacionamento entre os solos, as diferentes distribuições de espécies vegetais e as unidades litológicas presentes na área, valendo-se também de dados de perfis espectrais de campo, em locais representativos das unidades litológicas.

A integração dos resultados obtidos, mostra que a informação geológica extraída das imagens tratadas, foi compatível com a cartografia geológica na escala de semi-detelhe, sendo ainda fornecidos dados inéditos ao conhecimento geológico da região.

1.3 - Plano Geral da Pesquisa

Dados digitais MSS-Landsat gravados em fitas magnéticas, de estações secas e chuvosas, de uma área de aproximadamente 800 Km², no Baixo Vale do Rio Curaçá, BA, foram selecionados para os propósitos da pesquisa.

Técnicas de realces de imagens, incluindo Ampliações Lineares de Contraste, Divisões de Canais e Componentes Principais, foram aplicadas a este conjunto de dados.

Como resultado, anomalias de reflectância representadas por distintos padrões de cinza e nuanças de cores, em imagens preto/branco e coloridas, na escala 1:100.000, puderam ser detectadas, representando diferenças de comportamentos espectrais de associações "rocha-solo-vegetação".

Toda esta quantidade de informação, individual e combinada, foi analisada e confrontada com dados prévios de mapeamento geológico, reali-

zados pela CPRM, no Projeto Cobre do Curaçã (Delgado e Souza, 1975), na escala 1:50.000, que cartografou as principais unidades geológicas da área. Na faixa oriental da área-teste, fora do âmbito do citado projeto, foram utilizados os dados da Missão Geológica Alemã/SUDENE, apresentados em mapas regionais na escala 1:100.000 (Leube, 1972) e 1:50.000 (Jordan, 1968).

Visando elucidar as causas da correlação e discrepâncias entre os vários conjuntos de dados, verificações de campo foram realizadas, procurando-se levantar os níveis de influência da cobertura de solo, da densidade e espécies florísticas e da litologia, nos padrões de respostas obtidos.

Neste sentido, medidas espectrais de campo, em áreas representativas das unidades mapeadas foram efetuadas, bem como observações de afloramentos, aberturas de várias trincheiras com descrições de perfis pedológicos e coletas de amostras de rochas e solos, para posteriores análises petrográficas e físico-químicas, respectivamente.

Para algumas áreas, medidas espectrais de laboratório, com amostras de solos do horizonte superficial foram obtidas, procurando-se avaliar as discrepâncias entre as medidas de campo e laboratório, dentro do enfoque espectroscópico e fornecer subsídios à análise das imagens e pesquisas futuras.

Valendo-se de critérios estatísticos de seleção de atributos, foram também realizados testes, objetivando-se selecionar os melhores canais para discriminação litológica na área, sendo avaliado visualmente o desempenho dos vários produtos realçados.

Todo o processamento de imagens foi desenvolvido pelo autor no LTID (Laboratório de Tratamento de Imagens Digitais), do INPE/CNPq, em São José dos Campos, SP, utilizando-se do Analisador GE IMAGE-100, com um computador PDP - 11/45.

CAPÍTULO 2

O COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE MINERAIS, ROCHAS E SOLOS E A INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA ANÁLISE DE DA- DOS DE SENSORES REMOTOS

2.1 - Introdução

Dados de sensores remotos basicamente correspondem a medidas de trocas energéticas entre alvos e o meio ambiente, representadas por informações tipo intensidade de resposta por comprimento de onda. Estas informações são coletadas através de dispositivos sensores, que captam a radiação eletromagnética provinda dos alvos, medindo-se suas intensidades em intervalos espectrais específicos.

A possibilidade de identificação e discriminação entre materiais, baseia-se no fato de que, na radiação eletromagnética refletida, emitida ou transmitida pelo objeto, estão contidas suas características intrínsecas, relacionadas às suas particularidades físico-químicas, que impõem um padrão peculiar na relação intensidade/comprimento de onda, i. e., definem sua "assinatura espectral".

Em imagens como as do Landsat, com uma resolução de 0,62 ha (79 x 79 m), a resposta espectral em cada "pixel" representará a contribuição de cada elemento contido nesta área, através da média ponderada por áreas, das reflectâncias de cada elemento no terreno, i. e., a percentagem de rocha, solo e vegetação, considerada na faixa espectral do canal, a que o "pixel" pertença.

Desta maneira, é vital um conhecimento sobre o comportamento espectral da associação "rocha + solo + vegetação" a fim de que, padrões de cinza nestas imagens, possam ser interpretados e utilizados.

Para que o uso da assinatura espectral em discriminação litológica seja viável, torna-se necessário que feições típicas de respostas espectrais diagnósticas da composição química de minerais, rochas e solos associados, existam.

2.2 - Minerais e Rochas

Em relação aos minerais, as principais feições diagnósticas que

aparecem na faixa refletida do espectro (0.4 a 2.5 μm), representadas por deflexões de curvas de reflectância espectral e bandas de absorção, são causadas por uma variedade de processos eletrônicos de transferência de cargas e vibrações moleculares. Tais feições são basicamente devidas à presença de íons ferro (Fe^{++} e Fe^{+++}) ou ligadas à presença de água ou hidroxilas (Grupo OH).

Na Figura 2.1, são vistos em um diagrama de assinatura espectral, os resultados de Hunt (1977) e Hunt e Salisbury (1978), com as localizações de feições de absorção de energia refletida, relacionadas aos principais processos de transições eletrônicas (efeitos de campo cristalino, transferência de cargas, centros de cor, bandas de condução) e de vibrações moleculares para alguns minerais, a partir de dados de laboratório.

Muito embora sejam óbvias as dificuldades de correlação entre dados espectrais coletados a altitudes de satélites e as respostas espectrais obtidas em afloramentos ou laboratórios, estas informações são extremamente valiosas, principalmente como um passo inicial na identificação e entendimento dos processos inerentes à interação energia/matéria na análise espectral.

Nesta Figura 2.1, são destaques as feições de absorção relacionadas ao íon Fe^{++} , em 1.0 μm e ao íon Fe^{+++} próximas a 0.44 μm . Elas associam-se a efeitos de campo cristalino, i. e., causadas pela influência de campos eletrostáticos de uma estrutura cristalina mineral sobre os íons de ferro, quando estes estão presentes como constituintes ou impurezas, com os desarranjos no equilíbrio energético do íon, originados pela absorção da energia eletromagnética incidente. Também, feições de absorção associadas a transições eletrônicas para íons férricos, são comuns em 0.7 μm e 0.87 μm (Stoner and Baumgardner, 1980).

Porém, muito mais importante que estas feições, são as ligadas a processos de transferência de carga, que são habitualmente mais intensas que as do processo anterior, ocorrendo principalmente entre Fe^{++} e Fe^{+++} e na presença de óxidos e hidróxidos de ferro, principalmente limonita, respectivamente no infravermelho próximo e na faixa do ultravioleta-azul.

Já as absorções relacionadas a processos de vibrações moleculares, estão associadas à presença de água e hidroxilas, que estão presentes em muitas substâncias minerais, definindo bandas intensas em 1.9 μm e, secundariamente, a 1.4 μm e 2.4 μm . Caracteristicamente, tais feições podem ser distinguidas daquelas originárias de processos eletrônicos por um as-

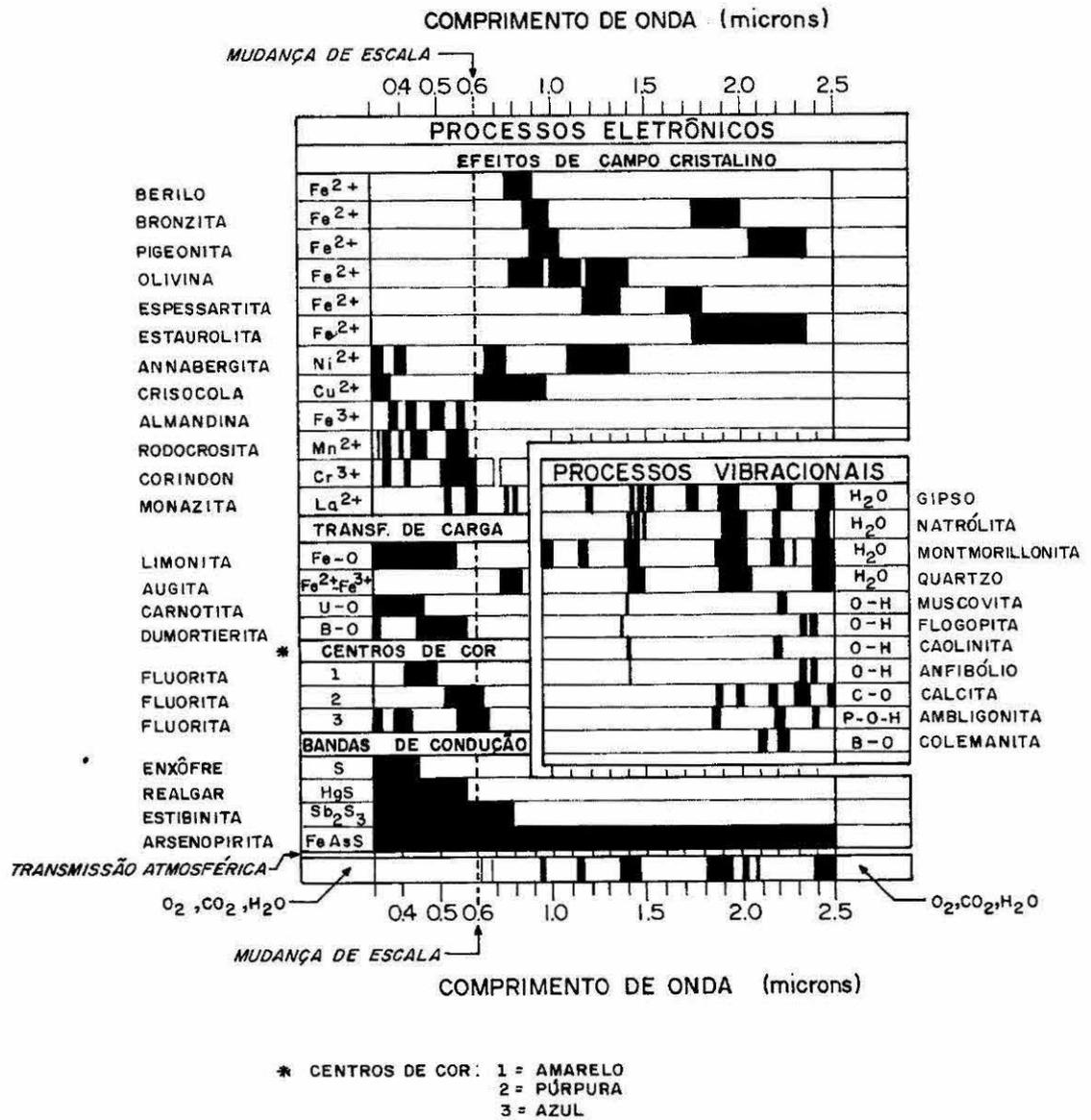


Figura 2.1

Diagrama de assinatura espectral de minerais, com a localização das principais feições diagnósticas. A localização do centro de cada área em negro corresponde à posição do centro da feição no espectro, sendo a largura da área correspondente a sua amplitude, estimada para cada particular banda de absorção.

Fonte: Hunt (1977)

pecto: as feições vibracionais são muito mais incisivas, marcantes e estreitas, ao passo que feições eletrônicas são amplas, mais rasas e suaves. Resultados sobre o comportamento espectral de rochas, são encontrados em uma série de publicações de Watson (1971); Rowan (1973); Hunt et alii (1973a, 1973b e 1974); Raines e Lee (1975); Hunt e Salisbury (1976a e 1976b); Hunt e Ashley (1979).

A análise destas contribuições evidencia o fato de que algumas considerações são inevitáveis, quando se utiliza a espectroscopia no visível e infravermelho próximo, para distinguir diferentes classes de rochas.

Primeiro, a maior parte dos constituintes minerais formadores de rochas, tais como os com estruturas tetraédricas de Si-O e em menor extensão Al-O e Mg-O, não mostra feições intrínsecas diagnósticas, não havendo nem transições eletrônicas, nem vibracionais que permitam a segura identificação da rocha, a partir das evidências espectrais dos principais minerais que a constitui. Segundo, o espectro de uma rocha composta predominantemente por minerais sem feições típicas, pode estar relacionado à presença de compostos que ocorrem ou como constituintes minoritários ou frequentemente como produtos de alteração, apenas indiretamente relacionados com a mineralogia primária.

Por último, muitas rochas contêm minerais opacos, os quais, em qualquer quantidade não apenas reduzem a reflectância, mas também tendem a obliterar feições diagnósticas.

A razão principal que permite a utilização da análise espectral em discriminação litológica está no fato de que os fatores acima citados, tendem a variar sistematicamente com as grandes classes de rocha.

As Figuras 2.2 e 2.3 ilustram este fato, mostrando representações esquemáticas de Hunt et alii (1974), com as áreas ocupadas pelos padrões de reflectância espectral para rochas ígneas ácidas, intermediárias, básicas e ultrabásicas, obtidos em laboratório.

Da análise destas figuras, observa-se que a área coberta pelos espectros de rochas ácidas, dispõe-se normalmente na porção superior dos gráficos, função da baixa absorção de energia incidente, alta transparência e elevada reflectividade de seus principais constituintes minerais félsicos, bem como da pouca presença de minerais opacos (magnetita).

Normalmente, as feições de absorção diagnósticas, que ocorrem nestes espectros, são devidas a processos de vibrações moleculares, associadas à banda de absorção de água e hidroxilas. Em oposição, tais espec-

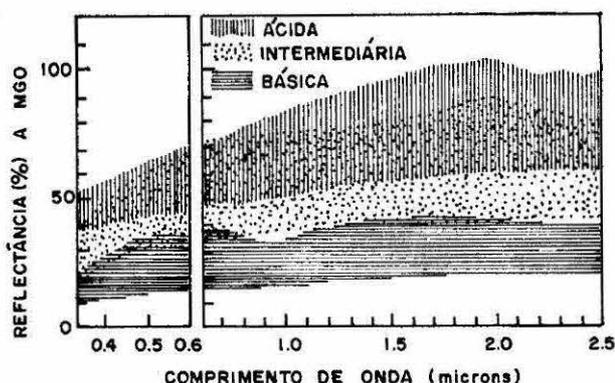


Figura 2.2

Representação esquemática das áreas ocupadas por padrões de reflectância espectral, para rochas ígneas ácidas, intermediárias e básicas.

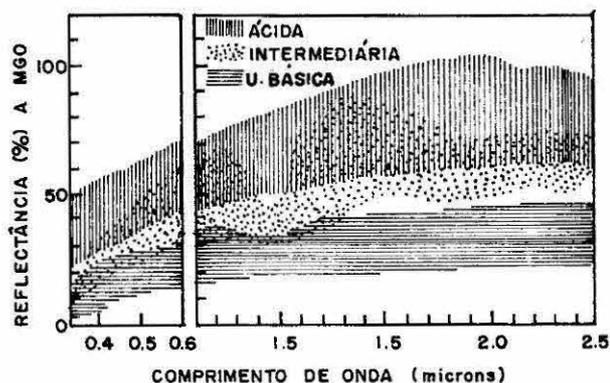


Figura 2.3

Campos ocupados por padrões de reflectância espectral para rochas ígneas ácidas, básicas e ultrabásicas.

Fonte: Hunt et alii (1974)

ros são menos sensíveis à presença de bandas relacionadas a processos eletrônicos (fêrricas e ferrosas), pela menor incidência de minerais máficos.

A região ocupada na Figura 2.2 pelos espectros de rocha intermediárias, superpõe em parte com a de rochas ácidas. A progressiva diminuição de bandas associadas à água e hidroxila, menos comuns nestas rochas, a maior presença de minerais máficos e, principalmente, o maior conteúdo de magnetita, explicam as principais feições diagnósticas esperadas neste conjunto, bem como a diminuição relativa de suas reflectâncias.

Rochas ultrabásicas (Figura 2.3) mostram normalmente reflectâncias mais elevadas e feições de absorção fêrricas e ferrosas mais proeminentes que as rochas básicas. Isto é explicado pela maior presença de opacos (magnetita) nas rochas básicas, que além de atenuarem as feições de absorção fêrricas e ferrosas, reduzem consideravelmente seus padrões médios de reflectância.

As mesmas considerações anteriores podem ser extrapoladas para os perfis de reflectância de rochas sedimentares e metamórficas, que exibem, em adição, feições diagnósticas da presença do radical carbonato, dispostas entre 1.9 e 2.5 μm . Além disto, calcários generalizadamente mostram um rápido decréscimo do gradiente de reflectância em direção à faixa do azul.

De modo análogo aos efeitos provocados pela presença de magnetita, materiais argilosos e carbonosos reduzem os contrastes de bandas de absorção em rochas sedimentares e metamórficas.

Em resumo, fatores como a reflectância geral, a presença de bandas de absorção associadas à água e hidroxilas, e a ocorrência de íons de ferro e magnetita, variam mais ou menos sistematicamente com a classe litológica. As diferenças encontradas nos comportamentos espectrais discutidos, não permitem uma utilização de dados de sensoriamento remoto em uma abordagem objetivando identificação de litologias específicas, na região do visível e infravermelho próximo. Esta faixa espectral se presta mais a aplicações particulares, tais como realçar a visibilidade em imagens, de unidades com litologias cujas assinaturas espectrais são conhecidas previamente, ou contrastar e discriminar diferentes unidades nas imagens, sem envolver compromissos de identificação de seus constituintes litológicos.

Em relação às rochas alteradas, importantes resultados foram publicados por Hunt e Ashley (1979), com dados obtidos em campo, sobre produtos de alteração hidrotermal na faixa de 0.35 a 2.5 μm .

As generalizações abaixo representam as principais conclusões destes autores para a faixa de sensibilidade do Landsat:

- a) a presença de uma banda fraca, mas incisiva, próxima a 0.43 μm , seria diagnóstica da presença de jarosita;
- b) a ocorrência de hematita como constituinte predominante de alteração, produziria uma banda intensa, centrada próxima a 0.85 μm ;
- c) a presença de goethita como principal constituinte mineral de alteração

produz uma feição similar centrada próxima a $0.93 \mu\text{m}$;

d) quando ambas, hematita e goethita, ocorrem em proporções significativas, a combinação de feições produz uma banda ampla com seu mínimo entre 0.85 e $0.93 \mu\text{m}$;

e) o desenvolvimento de uma banda secundária, que é representada por uma deflexão em $0.75 \mu\text{m}$ e um mínimo associado em $0.65 \mu\text{m}$, indica produtos de alteração hidrotermal de rochas, mais ricos em goethita que em hematita.

2.3 - Solos

Em se tratando de solos, o seu comportamento espectral variará de acordo com vários fatores, tais como: a umidade, o conteúdo de matéria orgânica, a capacidade de troca catiônica, o conteúdo e o tipo de óxidos de ferro, a granulometria e, obviamente, o estado da superfície.

Quanto à matéria orgânica, segundo Al-Abbas et alii (1971) e Hoffer e Johannsen (1972), quando ocorre um aumento de seu conteúdo no solo, a resposta espectral decresce proporcionalmente. Estudos de regressão efetuados por Schreier (apud Stoner and Baumgardner, 1980), mostraram que o conteúdo de matéria orgânica relaciona-se com a reflectância de solos, através de uma função exponencial curvilínea.

Estudando a relação reflectância/granulometria de solos, Bowers e Hanks (1965) mediram a reflectância de caolinita pura, em várias frações, notando a tendência de um aumento exponencial da reflectância com o decréscimo do tamanho das partículas em todos os comprimentos de onda, entre 0.4 a $1.0 \mu\text{m}$.

Hunt (1977), medindo a reflectância para minerais de carbonatos e silicatos, notou que o efeito geral do decréscimo no tamanho da partícula, foi o acréscimo da reflectância em todos os comprimentos de onda, da faixa de 0.3 a $2.5 \mu\text{m}$, bem como o decréscimo dos contrastes de feições de absorção, neste intervalo. Já para óxidos, a reflectância decresceu progressivamente com o decréscimo do tamanho das partículas minerais.

Estudos de regressão efetuados por Montgomery (1974) mostraram que o conteúdo de silte seria o mais importante parâmetro granulométrico para explicar as variações de reflectância em solos, sendo que sempre ocorre um incremento de reflectância quando há um aumento do conteúdo em silte.

Em relação ao ferro, Stoner e Baumgardner (1980) concluíram que

a quantidade de ferro presente no solo, parece afetar a magnitude das bandas de absorção fêrricas, quando comparados com solos similares, em várias características, exceto o conteúdo de ferro. Além disto, a banda fêrrica centrada em $0.87 \mu\text{m}$, seria normalmente a feição de absorção mais proeminente, detectada em curvas de reflectância de solos, sendo de mais difícil caracterização, as bandas de absorção associadas a íons ferrosos, tipicamente centradas em $1.0 \mu\text{m}$.

Quanto à umidade, os resultados de Hoffer e Johannsen (1972) e Bowers e Hanks (1965) mostraram que solos úmidos têm reflectância muito mais baixas que solos secos, na região de 0.4 a $2.6 \mu\text{m}$.

Montgomery (1974) concluiu que um aumento na capacidade de troca catiônica (CTC) causa um decréscimo na reflectância dos solos, para o intervalo analisado de 0.5 a $2.3 \mu\text{m}$. Este autor também admite que um aumento no conteúdo de argila ou de matéria orgânica, aumenta a CTC e, conseqüentemente, decresce a reflectância.

Condit (1970), levando em conta o conteúdo de matéria orgânica, drenagem interna e teor de ferro, caracterizou curvas de reflectância de solos em laboratório, representadas basicamente por 3 padrões de curvas. Ao Tipo I (Figura 2.4) estaria associada baixa reflectância, com características de curvatura côncava entre o intervalo de 0.32 a $1.0 \mu\text{m}$. O Tipo II (Figura 2.5) mostraria uma forma convexa no intervalo do visível a $1.3 \mu\text{m}$, e níveis de reflectância mais elevado que o anterior, diagnosticando solos melhor drenados e com teor de matéria orgânica menor que o Tipo I. O Tipo III (Figura 2.6) mostraria uma declividade maior da curva até $0.7 \mu\text{m}$, seguida por uma declividade próxima a zero ou mesmo tornando-se negativa (patamar mais horizontalizado) entre 0.74 a $0.80 \mu\text{m}$, a partir do qual novamente atinge um caráter de gradiente ascensional, com o aumento do comprimento de onda. A este tipo de curva estariam associados solos com moderado a alto teor de ferro livre.

Stoner e Baumgardner (1980), em complemento aos estudos de Condit, propuseram dois tipos adicionais de padrões de curvas de laboratório, na verdade, modificados do Tipo III anteriormente discutido. O Tipo IV (Figura 2.7) seria representado por uma declividade decrescente de 0.88 até $1.0 \mu\text{m}$, decrescendo até zero e tornando-se horizontalizada a até negativa, de 1.0 até $1.3 \mu\text{m}$. Este tipo de curva diagnosticaria solos com alto teor em ferro livre e alto teor em matéria orgânica.

O Tipo V (Figura 2.8) seria aquele no qual a declividade cai pa-

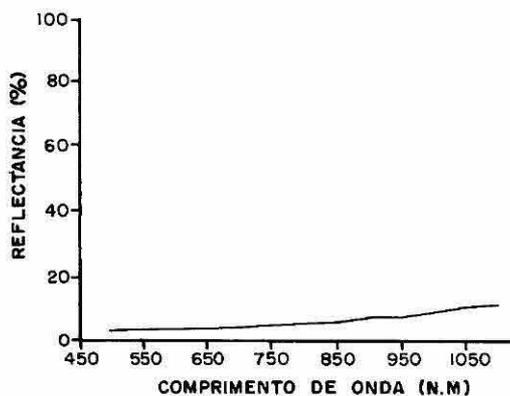


Figura 2.4

Tipo I de curva espectral de solo.
Adaptado de Condit (1970)

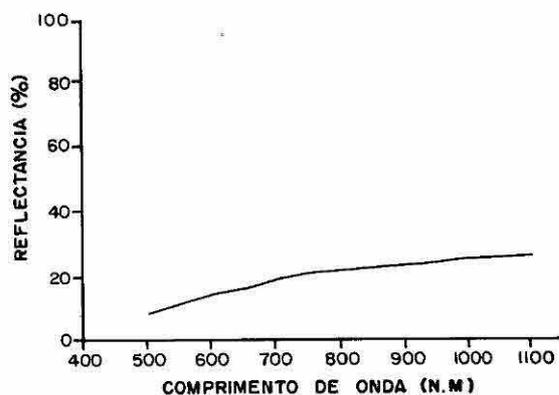


Figura 2.5

Tipo II de curva espectral de solo.
Adaptado de Condit (1970)

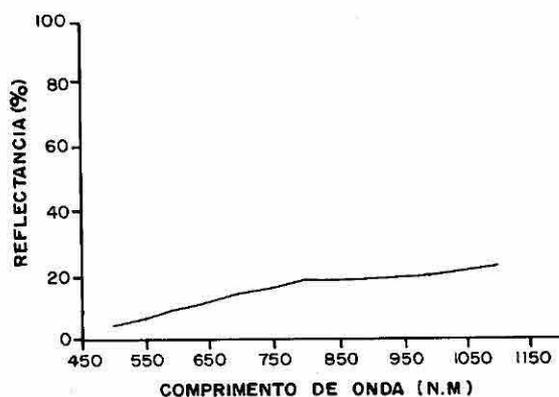


Figura 2.6

Tipo III de curva espectral de solo.
Adaptado de Condit (1980)

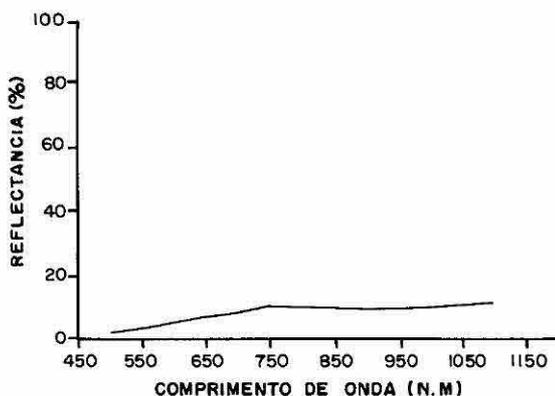


Figura 2.7

Tipo IV de curva espectral de solo.
Adaptado de Stoner e Baumgardner
(1980)

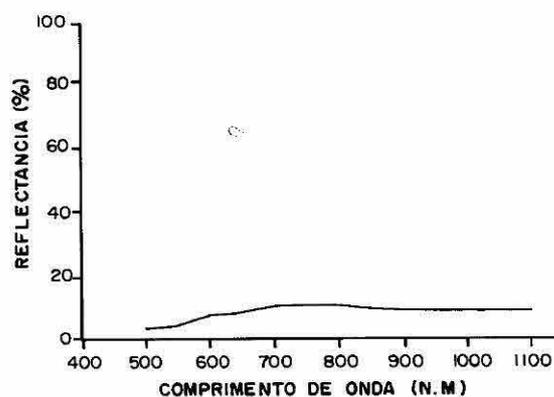


Figura 2.8

Tipo V de curva espectral de solo.
Adaptado de Stoner e Baumgardner
(1980)

ra zero e torna-se negativa de 0.75 a 1.3 μm . Neste tipo de curva, a reflectância próxima a 1.3 μm é menor que a reflectância da porção vermelha do espectro. Tal padrão se associaria comumente a solos contendo alto teor de ferro e com baixa percentagem de matéria orgânica.

2.4 - Vegetação

Em relação à influência da cobertura vegetal na discriminação de rochas e solos, a avaliação de seus efeitos deve se basear no conhecimento do comportamento espectral da vegetação na faixa de sensibilidade espectral considerada.

Um espectro típico de reflectância de uma folha verde é mostrado na Figura 2.9, para a região entre 0.4 a 2.6 μm .

Na parte do visível, de 0.4 a 0.7 μm , a reflectância da folha é baixa, em média 10 por cento, com um pico centrado em 0.55 μm , na região do verde. Este pico explica a cor verde das plantas percebidas pelo olho humano. A reflectância aumenta para quase 50 por cento em direção ao infravermelho (0.7 a 1.3 μm), mas gradualmente decresce a valores mais baixos em direção a 2.5 μm .

Discussões detalhadas sobre a reflectância de folhas e vegetação são encontradas nos trabalhos de Gates et alii (1965); Knipling (1970); Kumar (1972); Colwell (1974) e Gausmann (1977).

A reflectância espectral, na região de 0.4 a 2.6 μm , é função dos pigmentos das folhas, da morfologia das células, de descontinuidades do índice de refração interna e do conteúdo de água presente.

Os pigmentos do grupo da clorofila são os mais importantes e são os controles primários para a faixa de 0.4 a 0.7 μm , responsáveis pela alta absorção de radiação nos comprimentos de 0.45 e 0.68 μm . Estas absorções fornecem a energia necessária para a fotossíntese.

A alta reflectância na região de 0.7 a 1.3 μm , é causada pela estrutura interna celular da folha, onde múltiplas reflexões e refrações ocorrem, associadas às descontinuidades de índices de refrações (n) principalmente entre o ar ($n = 1.0$) e as paredes celulares hidratadas ($n = 1.4$). Contudo, os componentes da folha, tais como estômatos, núcleos, cristais, citoplasma, etc., também produzem significantes diferenças de índices de refração, contribuindo com uma percentagem elevada de radiação espalhada que, voltando à superfície de incidência inicial da folha, aumen-

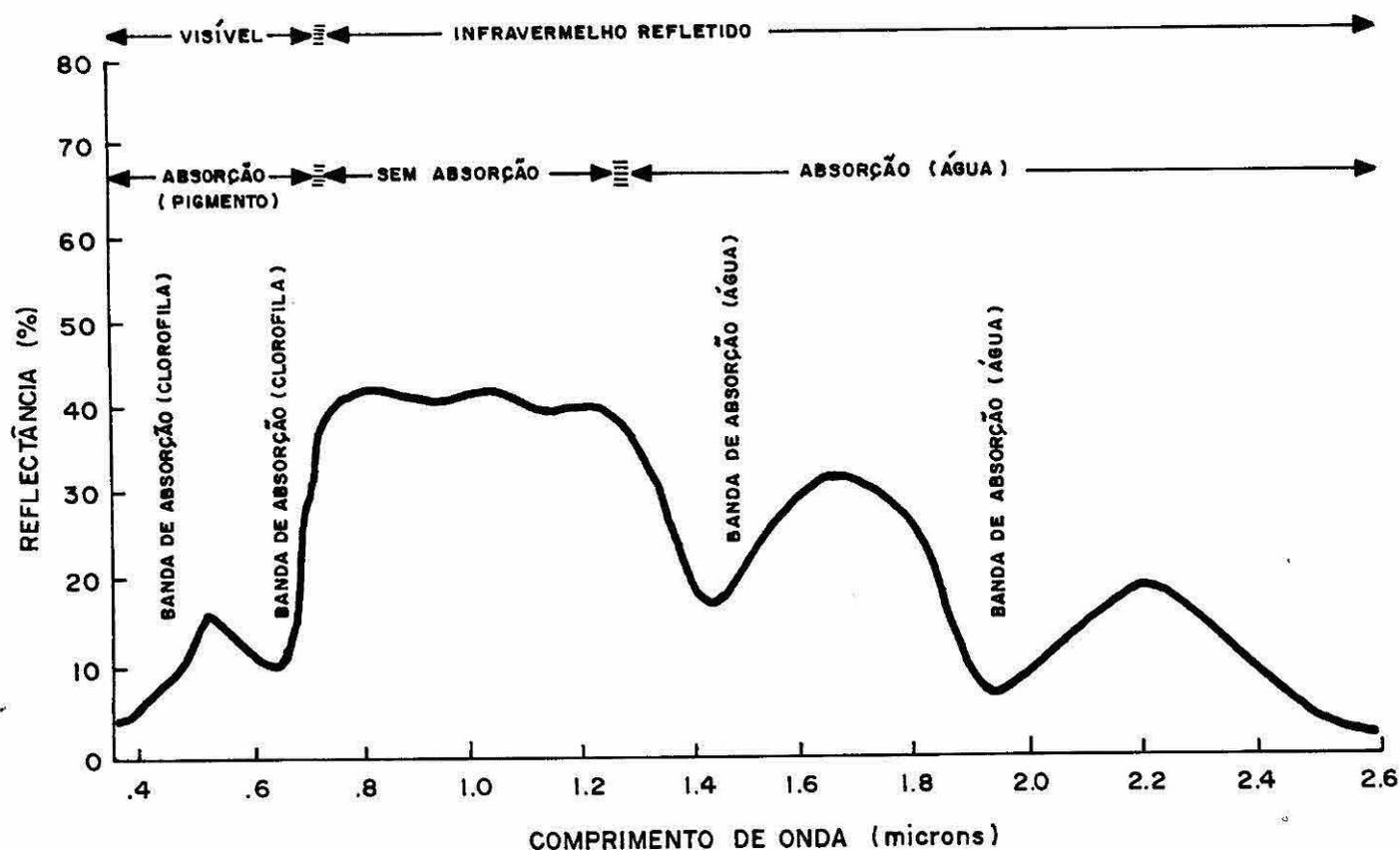


Figura 2.9

Curva de reflectância espectral, característica de uma folha verde.

Fonte: Kumar (1972)

ta sobremaneira a reflectância total (pouca ou nenhuma radiação incidente é absorvida neste processo). Esta alta reflectância é tida como fundamental para a folha manter um balanço próprio de energia e não se superaquecer, provocando a destruição da clorofila.

Na região de 1,3 a 2,6 μm , há um decréscimo gradual de reflectância, com bandas de absorção relativas à presença de água em 1,4 μm e 1,95 μm .

As propriedades de reflectância de uma folha, naturalmente, são básicas para o entendimento do padrão de resposta de uma planta inteira ou cobertura vegetal em situações de campo ou em imagens.

Os dados de comportamento de uma única folha porém, não podem ser extrapolados e aplicados diretamente, sem outras considerações. De ma-

neira geral, existirão diferenças quantitativas importantes nestes dois tipos de espectros.

Em uma base percentual, a reflectância de uma cobertura vegetal é consideravelmente menor que a de uma folha isolada, em virtude da atenuação geral da radiação que ocorre pelas variações no ângulo de iluminação, orientação das folhas, sombreamentos e contribuição de superfícies desfolhadas.

De modo geral, os níveis de reflectância no visível e infravermelho próximo de uma copa folheada, correspondem, segundo Knipling (1970), a aproximadamente 40 e 70 por cento, respectivamente, dos níveis de uma folha isolada. Este padrão, com uma menor redução no infravermelho, é explicado pelo fato de que grande parte da radiação infravermelho incidente transmitida através das folhas superiores, sofre posteriormente reflexão nas camadas de folhas subjacentes e é finalmente retransmitida para cima, através das folhas superiores, aumentando a reflectância geral. O mecanismo destes efeitos foi bem discutido por Myers et alii (1966).

O efeito da ocorrência de vegetação natural pode significativamente mascarar e alterar a resposta espectral do solo ou rocha de interesse e a significância desta alteração dependerá de vários fatores, tais como: a densidade da cobertura vegetal presente, o tipo de vegetação, a época do ano de obtenção da imagem e o tipo de reflectância do solo/rocha.

Siegal e Goetz (1977) analisaram o tipo de influência causada nos espectros de andesitos, calcários e solos com fragmentos limoníticos argilizados, pela presença de diferentes densidades de cobertura de gramínea verde, arbustos com folhagem e arbustos secos.

Deste experimento, os autores concluíram que a resposta espectral das litologias é muito sensível à participação da vegetação verde, sendo que, com apenas 10% de gramínea, as características espectrais de andesitos e calcários foram mascaradas e a discriminação seria difícil. Em contrapartida, vegetação seca ou morta, parece não afetar de modo significativo os padrões de reflectância de solos e rochas. Com até 60 por cento de cobertura de vegetação seca, a forma dos espectros para as diferentes litologias não foi alterada, permitindo assim discriminá-las, embora ocorrendo um decréscimo generalizado de reflectância.

As propriedades espectrais de vegetação não são constantes, estáticas, posto que estão intimamente relacionadas com os processos de vida da planta e, deste modo, sofrem variações sazonais e ciclos de juventu-

de, maturidade, que convenientemente exploradas, podem ser fonte de dados valiosos em aplicações geológicas com sensores remotos.

Pelo fato da cobertura do MSS-Landsat ser repetitiva, as variações sazonalmente dependentes, i. e, os atributos temporais podem ser detectados e seus significados usados em aplicações geológicas, principalmente em regiões como o Vale do Rio Curaçã, de marcado contraste entre estações secas e chuvosas.

CAPÍTULO 3

PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS LANDSAT

3.1 - Considerações Gerais

Os dados básicos utilizados nesta pesquisa, foram fornecidos pelo varredor multispectral do Satélite Landsat, o qual consiste de 24 detectores, seis em cada banda de sensibilidade.

Estas 4 bandas, referenciadas comumente como canal 4 (0.5-0.6 μm , verde ao laranja); canal 5 (0.6-0.7 μm , laranja ao vermelho); canal 6 (0.7-0.8 μm , vermelho ao infravermelho) e canal 7 (0.8-1.1 μm , infravermelho próximo), fornecem informações de todas as partes do globo terrestre, quando não cobertas por nuvens, entre 80° N e S de latitude, de maneira repetitiva, sinóptica e sob condições padronizadas de iluminação, em cada cena.

Cada imagem MSS-Landsat, correspondente a uma área no terreno de 185 x 185 Km, é obtida através de varreduras contínuas por um espelho, centrado perpendicularmente a trajetória ou órbita do satélite e que, acoplado a dispositivos óptico-mecânicos, capta informações do terreno, em parcelas de 6 linhas de varredura por oscilação. Cada linha de varredura é constituída por uma sucessão de elementos pontuais ou "pixel", que são unidades de informação da imagem.

Três satélites Landsat, 1, 2 e 3, foram lançados pela NASA (National Aeronautics and Space Administration), em 1972, 1975 e 1978. Cada um dos 3 satélites contém varredores multispectrais similares e registram a informação através das mesmas bandas de sensibilidade*. Maiores informações sobre o Programa Landsat, podem ser buscadas no artigo de Williams e Carter (1976). Paradella e Vitorello (1982b) discutiram alguns aspectos de aplicações do MSS-Landsat na geologia do país, bem como da potencialidade do Landsat 4, lançado em Julho de 1982.

Basicamente, a informação ou a R.E.M. (Radiação Eletromagnética) captada nos detectores do MSS-Landsat, a 904 Km de altitude, ou seja, a Radiação (L), pode ser representada pela equação :

* O Landsat 3 teve uma quinta banda no infravermelho termal (10-12 μm), que apresentou problemas de funcionamento.

$$L_{\lambda} = \frac{1}{\pi} \cdot S_{\lambda} \cdot T_{\lambda} \cdot P_{\lambda} \cdot (H_1 \cdot \cos \alpha + H_2) + N_{\lambda} \quad (I)$$

onde λ denota o comprimento de onda no espectro; S é um fator de ganho do equipamento sensor; T é a transmitância vertical atmosférica; P é a reflectância da superfície do material (razão da energia refletida pela energia incidente, assumindo condições lambertianas); H_1 é a irradiância solar (iluminação incidente direta na superfície e perpendicular ao vetor solar), α é ângulo que leva em conta a orientação da superfície em relação à posição do sol (Figura 3.1); H_2 é a iluminação difusa na superfície do alvo, contribuída pela atmosfera; e N é a contribuição aditiva do espalhamento atmosférico nos detectores (Kowalik et alii, 1980).

O parâmetro chave para distinguir tipos litológicos nas imagens MSS-Landsat, é a reflectância espectral P .

Geralmente, em uma imagem de boa qualidade radiométrica, todos os outros parâmetros permanecem quase sempre invariáveis, sendo que as variações presentes ou gradações de tons relacionados entre os diferentes materiais, estão ligadas em primeira ordem às variações de reflectância e, secundariamente, a efeitos de orientações topográficas dos alvos.

O MSS-Landsat codifica o logarítmo da radiância (L) da cena, em um sistema de seis "bits"*. Nos laboratórios do INPE/CNPq em Cachoeira Paulista, SP, os dados são adicionalmente reescalados para ocupar 8 "bits" ou 256 níveis de cinza. A imagem digital** é armazenada como adquirida, i. e., em uma série de números digitais gravados em fitas magnéticas, correspondendo aos valores digitais de cada "pixel" no terreno, o qual pode assumir 8 "bits" ou 256 níveis de cinza, entre o preto = 0 (sem informação) ou branco = 255 (saturado). Cada linha de varredura do "scanner" comporta 2.340 "pixels" e uma imagem Landsat é constituída por 3.482 linhas de varreduras.

Para converter esta quantidade de informação em uma ferramenta analítica hábil para pesquisa, torna-se necessário o uso do processamento digital de imagens, um termo genérico para um conjunto de procedimentos que visam preparar uma imagem para efetiva análise visual e fotointerpretação, para melhorar a fidelidade da cena ou para extrair parâmetros estatísticos ou outros tipos de informações de interesse do analista.

* bits - (binary digits) - unidade de informação.

** imagem digital - imagem que já foi discretizada, i. e., só assume valores inteiros, tanto em coordenadas espaciais, quanto em níveis de cinza, representando a radiância da cena.

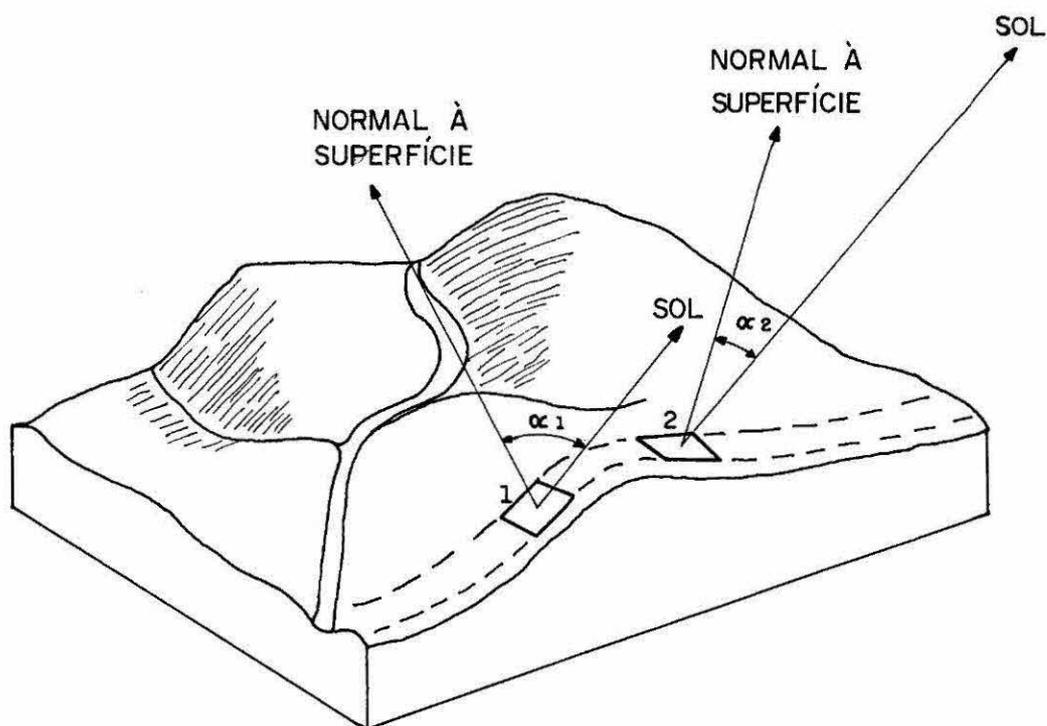


Figura 3.1

Bloco diagrama de superfície, mostrando a variação de diferentes orientações topográficas entre dois "pixels" de um mesmo material. Os ângulos α_1 e α_2 são ângulos entre o vetor solar e a normal às superfícies para cada "pixel". O "pixel" 1 tem um $\cos \alpha_1$ menor que o $\cos \alpha_2$ do "pixel" 2. Os ângulos α_1 e α_2 estão relacionados com a declividade do terreno (1), azimute da declividade (2), ângulo zenite solar (3) e ângulo de azimute solar (4), pela seguinte equação:

$$\alpha = \cos^{-1} (\cos S \cdot \cos Z + \text{Sen}Z \cdot \text{cost})$$

onde S = ângulo de mergulho do terreno; Z = ângulo zenite solar; t = diferença do azimute solar e azimute do mergulho do terreno, tomado em sentido horário em relação ao norte.

Fonte: Kowalik et alii (1980)

O processamento digital consiste na aplicação de funções matemáticas ou algoritmos, transformando os dados originais, segundo interesses específicos. Tais dados transformados são convertidos em imagens para a interpretação visual, usando, ou a radiância codificada em números digitais para modular uma fonte de luz sobre um filme fotográfico, ou através de tubos de TV colorida, dos sistemas analisadores, que reconstituem imagem no vídeo.

Desde que a qualidade de uma imagem é uma medida subjetiva, não existem regras simples, que acomodem os vários interesses na obtenção de uma única "melhor" imagem. Frequentemente, vários produtos, enfocando diferentes tratamentos, são necessários para que, combinados, componham a informação requerida pelo interessado. Assim, uma imagem realçada pode conter menos informação que a imagem original, porém o realce adequado mostrará a informação de maior importância ao analista.

Conceitos básicos, introdutórios, sobre "Processamento Digital de Imagens para Geologia", podem ser encontrados nos trabalhos de Abrams (1978); Taranik (1978); Condit e Chavez Jr. (1979) e Paradella e Vitorello (1981).

Várias são as vantagens da utilização de processamento digital de dados MSS-Landsat. Primeiro, da quantidade total de informação coletada, apenas uma pequena parcela pode ser mostrada por vez em uma imagem convencional em papel preto e branco (o intervalo possível de representação em uma fita magnética, correspondente a um canal do MSS-Landsat, varia de 256 níveis, ao passo que a mesma cena em imagem convencional em papel, comporta de 15 a 30 níveis no máximo). Segundo, a análise digital se desenvolve com precisão a nível de cinza registrado e em escalas de trabalho que podem atingir até 1:50.000, dependendo, é claro, do enfoque do tratamento e da qualidade da imagem.

Por último, os produtos de realce mais efetivos em aplicações geológicas, tais como Divisões de Canais e Componentes Principais, somente são disponíveis no país, através de técnicas de processamento digital, utilizando sistemas analisadores, como o Image-100 do INPE ou similares (ERMAN-2 da IBM/Brasília).

3.2 - O Sistema Analisador Image-100

O Sistema GE-Image-100 do INPE/CNPq (GE, 1975), corresponde a um

analisador de imagens multispectrais, obtidas por satélites ou aeronaves, e formatadas em fitas magnéticas ou transparências (Figura 3.2).

Sua configuração envolve os seguintes componentes:

- . um computador PDP 11-45
- . duas unidades de fitas magnéticas
- . um console analisador de imagem
- . uma unidade de memória de imagem
- . um terminal gráfico
- . uma unidade digitalizadora de entrada de dados
- . um conjunto DICOMED
- . uma impressora de linhas

O computador é, evidentemente, o mais importante componente do sistema, porque controla todas as operações desejadas pelo usuário.

As unidades de fitas magnéticas permitem alimentar o sistema com os dados digitais na forma de fitas magnéticas.

O console analisador de imagem permite a visualização dos resultados das operações realizadas, por meio de um vídeo de TV colorida, onde são mostradas as composições coloridas realçadas e os resultados de programas de tratamento ou realces e classificações aplicadas.

A unidade de memória é capaz de armazenar os dados do vídeo, correspondendo a quatro canais MSS do Landsat e mais um canal alternativo para armazenar informações temáticas.

O terminal gráfico com um vídeo, possibilita ao operador controlar as operações do computador, facultando ao usuário a tomada de decisões durante a execução dos programas.

Uma câmara de TV, um conjunto de lentes e filtros, e um conversor analógico-digital constituem a unidade digitalizadora de entrada de dados, que é utilizada quando estão disponíveis apenas dados de transparências fotográficas.

Todos os resultados finais de operações no I-100, podem ser apresentados na forma fotográfica, utilizando-se do conjunto DICOMED, ou documentados, como é mais comum, através de fotos convencionais do vídeo de TV colorida do sistema, que permite ampliações em escalas desejadas pelo usuário.

Quando conveniente, os resultados podem também ser impressos na forma gráfica, através da impressora de linhas.

Por permitir a interação usuário-máquina e pela grande potencia-

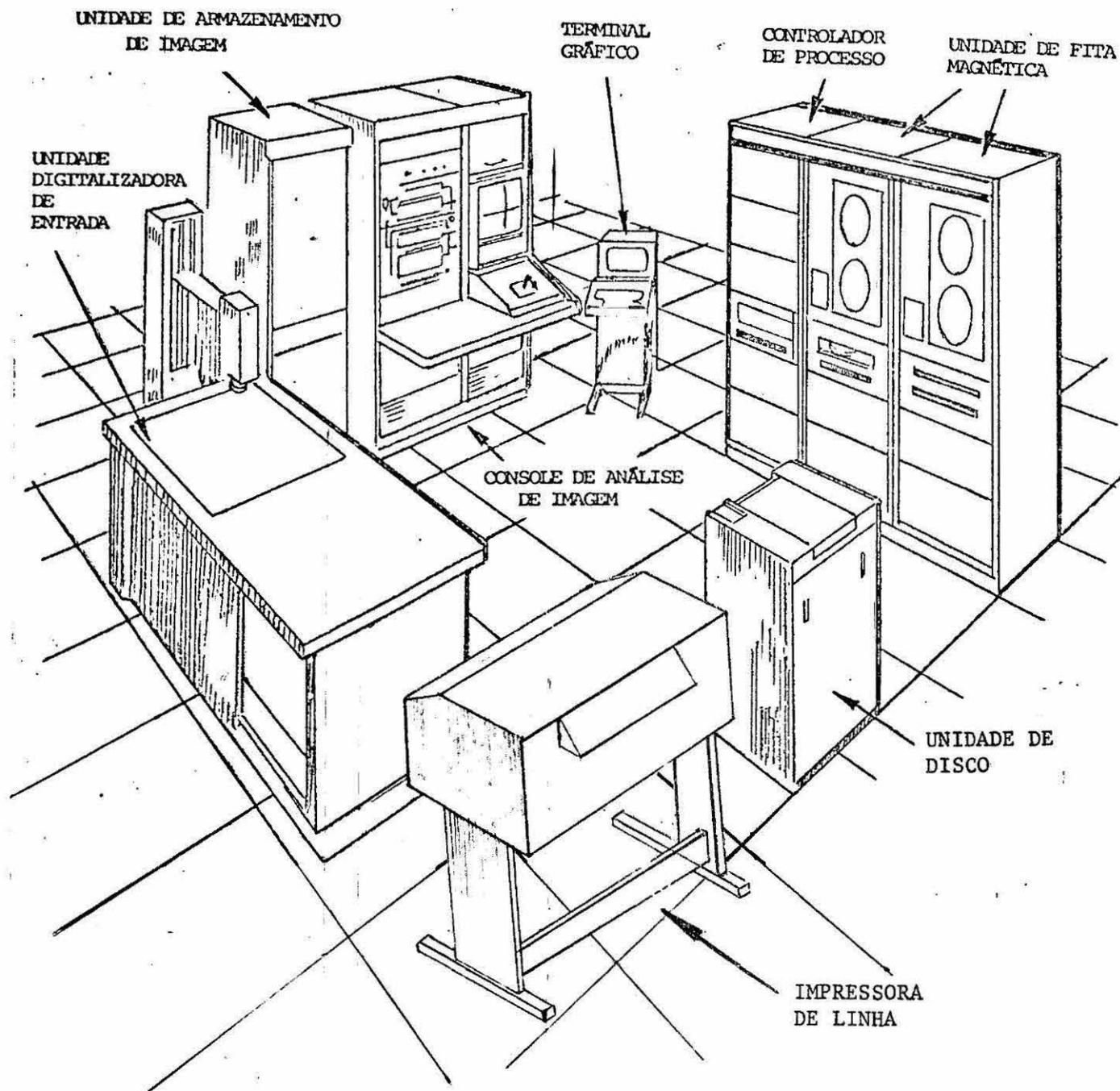


Figura 3.2

Sistema GE IMAGE-100 do INPE/CNPq - São José dos Campos (SP)

tidade do "software" integrado ao "hardware" do I-100, é possível extrair e analisar uma grande quantidade de dados de imagens multispectrais, através de técnicas de processamento digital.

3.3 - Técnicas de Realce de Imagens

Sob este nome estão agrupados vários conjuntos de procedimentos e técnicas, que basicamente visam destacar certas informações ou melhorar a qualidade visual da cena, para o trabalho do fotointérprete.

Dentro desta linha de abordagem, a discussão a seguir procura oferecer os fundamentos gerais e descrições das técnicas de realce utilizadas na pesquisa, sendo que o conjunto aqui descrito é parte de uma gama maior de opções de tratamento de imagens digitais disponíveis a usuários do LTID, cujas especificações podem ser vistas no Manual do Usuário dos Sistemas de Tratamento de Imagens Digitais (Ribeiro et alii, 1982).

Em virtude da maioria das técnicas de realce enfatizar também as imperfeições das imagens, a ponto de tornarem obscuros os dados de interesse, é imperativo que ruídos ou imperfeições intrínsecas nas cenas sejam removidos ou atenuados, antes de se iniciar processamentos de realce. Geralmente, as imperfeições nas cenas são inerentes e dependentes do sistema usado para gerar o dado digital, obrigando a que programas específicos para remoção de ruídos sejam desenvolvidos, dependendo do tipo de ruído presente.

As correções ou processamentos preliminares aplicados nas imagens da área-teste foram:

- a) correção de ruídos associados à ausência de informação em linhas ou "dropped lines". Este tipo de ruído resulta por integração de vários fatores, na ausência de informação na fita magnética, quando da transmissão do sinal recebido pelo satélite, da gravação em fita ou mesmo processamentos posteriores dos dados. O ruído pode ser reconhecido por um padrão horizontal anômalo na imagem, associado geralmente a níveis com saturação. A correção normalmente aplicada consiste na substituição da linha com ruído, pelo valor médio entre a linha anterior e a posterior à afetada.
- b) correção de ruídos de varredura do "scanner" ou "striping". Este ruído é caracterizado por padrões sucessivos de linhas horizontais, diretamente ligado ao sistema de imageamento do "scanner". Devido ao fato dos detectores serem independentes, possuem curvas de respostas não perfeitamente

lineares entre si e não serem idealmente calibrados, um padrão de linhas horizontais combinando ruído e informação espectral, resulta. A correção deste tipo de ruído envolve duas etapas. A primeira é efetuada na gravação da informação espectral na fita, quando são compiladas as respostas das linhas de varreduras, ajustando cada resposta a um padrão. Este ajuste preliminar é completado pelo analista no I-100, com a aplicação de algoritmos especiais, que atuam nas baixas frequências da cena, como por exemplo, as filtragens "passa-baixa".

3.3.1-Realces por Ampliação Linear de Contraste("Linear Contrast Stretch")

Basicamente, os sensores do Landsat foram concebidos para registrar respostas de radiância de alvos naturais, em uma faixa de radiância bastante ampla para não permitir saturação. Isto faz com que normalmente, toda a informação de uma cena esteja originalmente restrita a uma pequena porção do intervalo ou "range" total, possível de representação de níveis de cinza. Em outras palavras, a informação original geralmente ocupa um pequeno intervalo dentro dos 256 níveis de cinza.

A técnica do realce por ampliação de contraste ou "contrast stretch" consiste basicamente em aplicar na cena original, uma transformação matemática, que expanda o intervalo original para toda a escala de cinza disponível.

A mais simples desta transformação é um contraste linear:

$$L_s = a L_e + b$$

onde L_s é o valor em nível de cinza do "pixel" de saída; L_e é o valor em nível de cinza original e a e b são constantes, definindo ganho e offset, respectivamente. Neste tipo de transformação, um valor original L_1 é transformado para 0 e um valor L_2 é ajustado para o nível 255, sendo os valores intermediários entre L_1 e L_2 escalonados proporcionalmente.

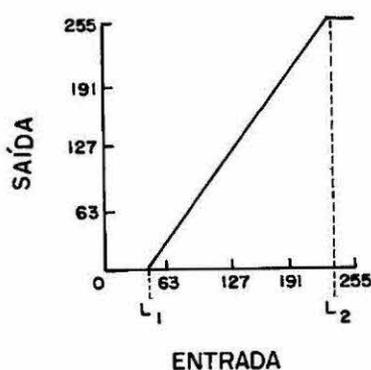


Figura 3.3 - Função de transferência para uma Ampliação Linear de Contraste.

Qualquer tipo de transformação matemática pode ser implementada, estando atualmente disponível no I-100 as transformações linear, equidistribuição e raiz quadrada.

O mais efetivo realce de contraste, em qualquer caso particular, dependerá naturalmente das características da imagem original e do tipo de feições ou alvos na imagem que for de maior interesse para o realce.

Embora o contraste linear seja o mais utilizado, não se pode generalizar que seja este tipo de transformação, o mais adequado em aplicações geológicas, existindo casos em que outros tipos de transformações, não tão comuns, se mostraram mais apropriadas em abordagens geológicas, com imagens Landsat (Goetz et alii, 1975).

3.3.2-Composições Coloridas de imagens ampliadas linearmente

A utilização de composições coloridas representa um recurso valioso e é um procedimento rotineiro, quando se pretende obter um ganho na quantidade de informação que possa ser mostrada em uma única cena.

Fundamentalmente, isto ocorre pela própria característica do olho humano, capaz de discriminar com maior facilidade, valores de matiz que gradações de cinza.

A composição colorida é também um modo conveniente e rápido de mostrar em um só resultado, variações multispectrais de alvos, sem prejuízo para as relações espaciais presentes nas cenas. Normalmente, a cada diferente banda é associada uma das cores primárias do vídeo de TV do I-100, i. e, as cores azul, verde e vermelha, em um sistema aditivo de síntese ou suas complementares, amarelo, magenta e cian. Deste modo, variações nas respostas espectrais dos vários materiais nas cenas, serão mostradas por cores diferentes e suas combinações e nuances na composição colorida (ex : MSS-4 com azul + MSS-5 com verde + MSS-7 com vermelho).

A única restrição da técnica é que ela somente utiliza a informação de 3 dos 4 canais na associação com as 3 cores primárias. Neste processamento, são normalmente utilizadas imagens previamente contrastadas por ampliação linear de contraste.

3.3.3-Divisão de Canais ("Band-Ratio")

A Divisão de Canais tem sido largamente utilizada em pesquisa mi

neral para identificar áreas de exposição ricas em óxidos de ferro (Rowan et alii, 1974; Lyon, 1975), áreas com greisens associadas a mineralizações estaníferas (Almeida Filho, 1982) e discriminações litológicas (Rowan et alii, 1977; Blodget et alii, 1978).

Imagens "ratio" são importantes em Geologia por vários fatores. Primeiro, este tipo de técnica tende a diminuir, em uma primeira aproximação, diferenças de respostas nas cenas, atribuídas a efeitos topográficos (diferentes ângulos de iluminação do mesmo alvo), i. e., os valores de "pixels" de um mesmo material, variam de acordo com o ângulo α da equação anterior I:

$$L_{\lambda} = \frac{1}{\pi} S_{\lambda} \cdot T_{\lambda} \cdot P_{\lambda} \cdot (H_1 \cdot \cos \alpha + H_2) + N_{\lambda}$$

Admitindo-se a aplicação de correções atmosféricas a priori, ou negligenciando os efeitos aditivos do termo N_{λ} e do valor H_2 , teríamos na imagem "ratio" o valor do "pixel" sendo:

$$\frac{L_{\lambda_1}}{L_{\lambda_2}} = \frac{T_{\lambda_1} \cdot P_{\lambda_1} \cdot S_{\lambda_1} \cdot H_1}{T_{\lambda_2} \cdot P_{\lambda_2} \cdot S_{\lambda_2} \cdot H_2} \quad (II)$$

ou seja, o valor digital, correspondente à razão entre as radiâncias, passa a ser independente da orientação topográfica do alvo em relação ao sol e é linearmente proporcional ao quociente das reflectâncias. Isto faz com que uma imagem "ratio" exprima bem diferenças de reflectância.

Um segundo aspecto importante de imagens "ratio" seria a tendência de normalizar a resposta de materiais, que possuem curvas de resposta espectral similares, mas com albedos variáveis. Do mesmo modo, tais imagens são valiosas por enfatizarem sutis diferenças espectrais entre alvos nas cenas, com diferentes comportamentos de gradiente nas curvas de reflectância espectral, dentro de bandas consideradas na divisão.

Finalmente, a técnica da divisão de canais funciona como um hábil meio de reduzir a dimensionalidade de dados, pois com os produtos obtidos é possível constituir imagens coloridas, em que ocorram a contribuição dos 4 canais originais (por exemplo: 4/5 com azul + 5/6 com verde + 6/7 com vermelho).

As desvantagens desta técnica são: perda de características espaciais da cena pela eliminação de iluminação ou sombreamento no relevo e

o fato de que alvos facilmente separáveis em canais originais ; podem se apresentar como indistintos no produto "ratio", particularmente se apresentarem gradientes de curvas de reflectância similares.

Em sua forma mais simples, o algoritmo usado na transformação "ratio" no I-100, é o seguinte:

$$L_s = a \frac{L_1}{L_2} + b$$

onde L_s é o valor digital do "pixel" obtido; L_1 e L_2 são os valores dos "pixels" nos dois canais envolvidos na divisão e a e b são valores fornecidos pelo usuário, definindo ganho e offset, respectivamente. Até 6 bandas "ratio", espectralmente diferentes, podem ser obtidas de dados MSS-Landsat com esta técnica, sem se considerar permutações invertidas (4/5 ou 5/4, 4/6 ou 6/4, 4/7 ou 7/4, 5/6 ou 6/5, 5/7 ou 7/5 e 6/7 ou 7/6).

3.3.4-Componentes Principais

Vários artigos de sensoriamento remoto, têm enfatizado a utilização de transformações por Componentes Principais de dados Landsat, em aplicações geológicas (Fontanel et alii, 1975; Podwysocki et alii, 1977; Merembeck et alii, 1977; Santisteban and Munoz, 1977; Blodget et alii, 1978)

Basicamente, os canais originais do MSS-Landsat são altamente correlacionados, i. e, existe redundância de informações entre as 4 bandas, função da natureza da resposta espectral dos alvos naturais e largura e posição das bandas MSS, no espectro eletromagnético.

A técnica dos Componentes Principais produz novas variáveis (canais), as quais são combinações lineares ortogonais das variáveis originais, através de uma rotação e translação, num hipotético espaço de atributos espectrais, definido por eixos ortogonais correspondentes aos canais MSS do Landsat.

Esta transformação tende a concentrar a informação ou variância total das cenas originais, assumindo que a variância é uma medida da quantidade de informação, em um novo conjunto de eixos (novos canais ou canais transformados ou componentes principais), que são não-correlacionados e ortogonais entre si. Além disso, esta transformação conhecida como de "Karhunen-Loève", é feita de tal forma que a maior parte da informação é respectivamente concentrada nos primeiros componentes principais, enquanto que aos restantes, é associado um mínimo de informação. Normalmente, o quarto

componente principal está associado ao ruído contido nas cenas originais.

O algoritmo implementado no GE I-100 computa uma transformação linear ortogonal C , tal que $Y = CX$. X é um canal (variável) original MSS, C é uma matriz de transformação linear $q \times p$, onde $q \leq p$; e Y é o novo canal ou componente principal obtido. C é a matriz de transformação ou matriz dos auto vetores, obtida a partir da matriz covariância das cenas originais.

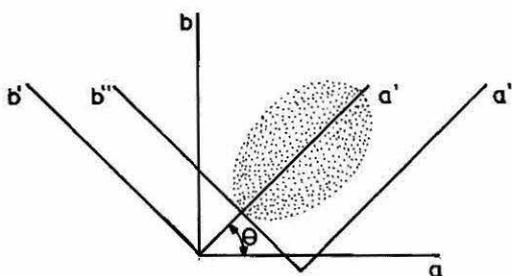
A Figura 3.4 é uma representação geométrica da técnica dos componentes principais para um hipotético "scanner" com dois canais. A orientação da dispersão elíptica dos dados, indica que os canais a e b são correlacionados. A quantidade de informação da Figura 3.4 para o canal a'' é maior que a estimada para o canal original a ou b .

Este tipo de aplicação é muito utilizado atualmente em processamento digital de imagens, porque não requer dados prévios da área analisada, e a maior parte da informação contida nos canais originais (frequentemente mais de 95%), pode ser agora mostrada em uma única imagem, obtida através de uma composição colorida (3 componentes principais com 3 cores primárias).

Geralmente, após a obtenção dos componentes principais, são aplicados contrastes por "stretch" linear e então são associadas as cores, no video do I-100.

Este tipo de técnica tenderia, teoricamente, a ser mais poderosa na capacidade de discriminação entre alvos, do que combinações com 3 canais originais. Contudo, áreas com ruídos, cobertura de nuvens, corpos de água, tendem a interferir negativamente no resultado da transformação e devem ser considerados nos resultados obtidos.

Figura 3.4 - Transformação por Componentes Principais (CP).



A transformação envolve rotação θ e translação para um conjunto de dados dos canais a e b . O padrão elíptico de dispersão de pontos reflete a informação nos dois canais. Os novos canais a'' e b'' seriam o primeiro CP e o segundo CP obtidos. Num espaço multidimensional, cada sucessivo eixo seria ortogonal ao precedente e a quantidade de informação tenderia a crescer concomitantemente.

Fonte: Merembeck et alii, 1977 (com adaptações).

CAPÍTULO 4

A ÁREA DE ESTUDO

4.1 - Características Gerais

A área-teste escolhida está situada no baixo Vale do Rio Curaçã, no nordeste do Estado da Bahia, com uma extensão aproximada de 800 Km², encravada na zona fisiográfica dos sertões do Nordeste brasileiro (Figura 4.1).

O município de Curaçã, à margem direita do Rio São Francisco e a 96 Km de Juazeiro, constitui o mais importante núcleo populacional na região, distando mais de 100 Km ao norte da Mina de Carãiba.

Adotando-se a classificação de W. Köppen, que identifica as regiões climáticas da Terra, através de estudos da cobertura vegetal associada a valores numéricos de temperatura e precipitação, a área de pesquisa se enquadraria na categoria BSW^h, caracterizada por insuficiência de precipitações, clima bastante quente, semi-árido, baixa umidade do ar, temperatura elevada e excessiva evaporação.

Dos dados publicados pela EMBRAPA (SNCLS)/SUDENE (1977), a temperatura média anual oscilaria em torno de 26° C, sendo o trimestre mais úmido em janeiro-fevereiro-março e a época de estiagem máxima, prevista para julho-agosto-setembro.

A pluviosidade anual média varia de 500 a 700 mm, distribuída de modo bastante irregular, segundo um regime de caráter torrencial. Acredita-se que grande parte das primeiras chuvas caídas entre outubro e dezembro se infiltrem, facilitadas pela grande incidência de fendas de ressecamento no solo. A partir de dezembro, com o solo já saturado e onde a evaporação se manifesta, sobretudo na parte mais superficial, começa a haver o escoamento superficial, estimado nesta fase em até 80 por cento da precipitação. A topografia bastante plana, favorece a retenção de água no solo, por períodos prolongados entre fevereiro e abril (Mattoso, 1975).

A rede hidrográfica é representada pelo Rio São Francisco, único curso perene na região, seu tributário da margem direita, o Rio Curaçã e os afluentes deste, que exibem competência elevada, manifestada apenas nas épocas das chuvas, tornando-se secos, tão logo estas cessam.

LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

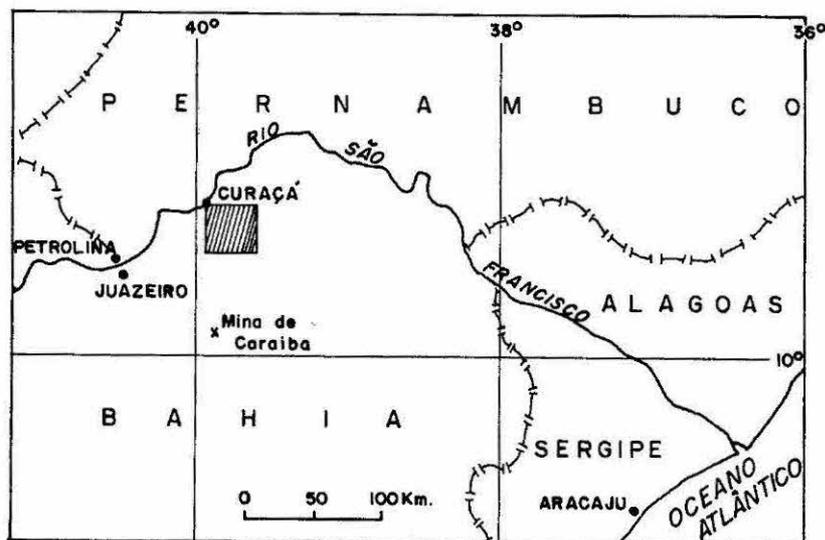


Figura 4.1

A área compõe um domínio pediplanizado, com cotas médias entre 350 a 430 metros, onde se destacam os "inselbergs" da serra Redonda (560 metros) e da serra da Cana Brava (750 metros). Os desníveis entre os divisores de água e os leitos dos rios, neste pediplano, raramente ultrapassam a 20 metros.

Barbosa et alii (1964) e Delgado e Souza (1975), reconheceram na região, ciclos erosivos, propostos por Lester C. King, em 1956. Assim, ao topo dos "inselbergs" estaria associado um nível de aplainamento geral, correlacionado à "Superfície Sul-Americana", ocorrida em condições de clima semi-árido, entre o Cretáceo Inferior e o Terciário Médio. Originado este aplainamento, seguiu-se um período de erosão, na vigência de condições mais úmidas, durante o qual os vestígios do ciclo inicial foram destruídos, deles só restando os "inselbergs". Posteriormente, em condições semi-áridas, se instalaria o segundo ciclo de aplainamento, correlacionado ao ciclo "Velhas" do Terciário Superior, representado na área pelo pediplano. Da dissecação deste pediplano, resulta o ciclo atual, "Paraguaçu", processado em condições tropicais semi-áridas e representado nos canais de drenagens da região.

Os solos na área são predominantemente residuais e refletem com grande frequência, pela cor e textura, o substrato que lhes deu origem (Lewis Jr. et alii, 1964; Leube, 1972; Delgado e Souza, 1975; Mattoso, 1975)

Mattoso (op. cit.) reconhece seis tipos de solos para o Vale do Curaçã, cuja relação com o substrato litológico, seria:

- a) solos arenosos, cinza alaranjados, derivados de granitos, gnaisses a biotita e leptinitos;
- b) solos arenosos, amarelo-alaranjados, associados a granitos e gnaisses com anfibolitos e intercalações de leptinitos ou gnaisses com anfibolitos;
- c) solos arenosos, vermelho-acinzentados a castanho-claros, derivados de gnaisses anfibolíticos e anfibolitos injetados por rochas félsicas;
- d) solos siltico-argilosos, cinzento escuro a pretos, associados a leptinitos, sienitos, calcários e xistos/filitos (?);
- e) solos silticos, vermelhos, derivados de anfibolitos com hematita (magnetita?), diabásios e gabros tectonizados;
- f) solos siltico-argilosos, castanho escuro a acinzentado (castanho-charuto), derivado de rochas máficas.

A vegetação na área é representada por espécies de caatinga. São formações predominantemente caducifólias, de porte variável (geralmente arbustivo e/ou arbóreo-arbustivo), de caráter xerófilo, com grande quantidade de plantas espinhosas, ricas em cactáceas e bromeliáceas.

As espécies de caatinga apresentam como características, as formas comuns de resistência à carência d'água, através da redução da superfície foliar, a transformação das folhas em espinhos, cutículas cerosas nas folhas, etc., sendo porém a característica comum a caducidade foliar, que ocorre na estação seca. Com a chegada das chuvas, folhas e flores renascem com rapidez e em poucos dias, a paisagem torna-se verde (Cabrera e Willink, 1973).

As espécies que predominam são as xerófilas / hiper-xerófilas (EMBRAPA-SNLCS /SUDENE, 1977), notando-se certa seletividade da flora com relação ao tipo de solo, observada por vários autores (Lewis Jr. et alii, 1964; Leube, 1972; Delgado e Souza, 1975; Mattoso, 1975).

Assim, associações de pinhões, matapasto, catingueiras, quipã, barãna e imburana, são típicas em solos de rochas máficas-ultramáficas, enquanto que associações de xique-xique, favela, cansanção, carqueja, calumbi e jurema, são frequentes nos solos areno-argilosos, derivados de gnaiss-

ses e migmatitos. Nos aluviões dos riachos mais expressivos, carabeira, angico, juazeiro e quebra facão, predominam (Delgado e Souza, 1975).

4.2 - Contexto Geológico Regional

Embora os propósitos da pesquisa não incluam caracterizações litostratigráficas, estruturais e metamórficas na área e suas conotações com modelos evolutivos regionais, é oportuna uma discussão sobre os trabalhos mais significativos para este trecho do território baiano, a fim de que possa ser avaliada a complexidade do ambiente geológico estudado e conseqüentemente, sentida a relevância da contribuição que a análise espectral possa fornecer.

Assim, a presença extensiva de associações de rochas granulíticas e charnoquíticas, com texturas e estruturas isotropas ou gnáissicas, bem como de tipos migmatíticos, define uma faixa com "trends" de foliação N-S no Vale do Rio Curaçã, característica de cinturões móveis antigos arqueanos.

Almeida (1981) associou tal faixa à continuidade norte do seu "Cinturão Móvel Costeiro", delimitando a borda oriental do suposto Craton do Paramirim, megaentidade geotectônica, de idade pré-transamazônica, consolidada após o evento Jequiê (2.7 a 2.9 Ga). Por outro lado, tal faixa corresponderia também à parte setentrional do "Cinturão Móvel da Bahia" de Mascarenhas (1973) e Pedreira et alii (1978), à parte norte do sub-domínio "Zona de Salvador-Juazeiro", empregada por Inda e Barbosa (1978), ou à parte norte do atual "Cinturão Móvel Costeiro Atlântico", redefinido por Mascarenhas (1979, 1981; Figura 4.2).

As litologias na faixa podem ser agrupadas em associações de rochas gnáissicas-granulíticas, principalmente quartzo-feldspáticas bandadas ou com estruturas migmatíticas ("folded, schollen, stromatic, schlieren"). Envolvidas com os gnaisses félsico-intermediários, ocorrem camadas e lentes de rochas carbonato cálcico-silicáticas (gnaisses cálcico-silicáticos, diopsiditos, mármore); formações ferríferas, quartzitos, anfibolitos, além de uma série de corpos máficos-ultramáficos. Corpos intrusivos ocorrem como representantes sieníticos e graníticos. Anatexia "in situ" pode ser representada por lentes graníticas (Figueiredo, 1981).

Trabalhos em detalhe nesta faixa, foram realizados por Ladeira e Brockes Jr. (1969), para o médio Vale do Curaçã, definindo o Super-Grupo

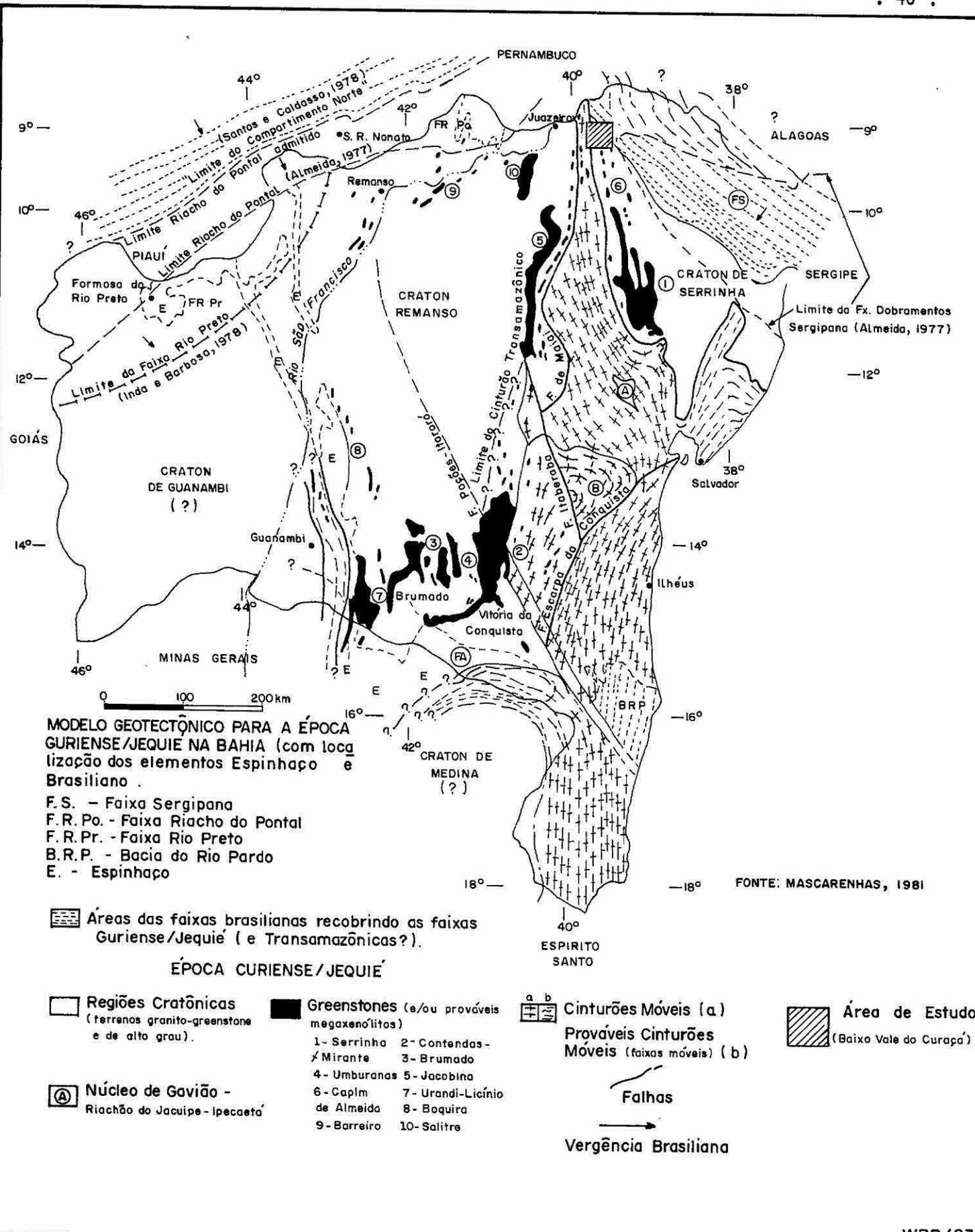


Figura 4.2 - Modelo Geotectônico para a Bahia

Caraíba, subdividido em Grupo Rio Curaçã (6 formações), basal, mais metamórfico, mais migmatizado e granitizado, com sequências de máficas-ultramáficas encaixadas e uma unidade superior, o Grupo Tanque Novo (3 formações), menos metamórfico.

Delgado e Souza (1975), em mapeamento para todo o Vale, constataram a presença dos mafitos-ultramafitos, também na unidade superior Tanque Novo e optaram por uma generalização estratigráfica, com uma unidade basal - Sequência Rio Curaçã (5 sub-unidades, sem conotações estratigráficas entre si) e uma superior - Sequência Tanque Novo (4 sub-unidades estratigráficas).

A Sequência Rio Curaçã proposta, incluiria gnaisses charnoquíticos e granulíticos, associados com intercalações anfíbolíticas, migmatitos gnáissicos, gnaisses migmatizados e gnaisses quartzo-feldspáticos. Na Sequência Tanque Novo, estariam presentes biotita-gnaisses migmatizados, kinzigitos com rochas cálcico-silicatadas, quartzitos, quartzo-feldspatos gnaisses, quartzitos fucsílicos, anfíbolitos, quartzitos ferríferos, diatexitos a biotita e granada. Rochas granitóides, metassomatitos e diaforitos ocorreriam associados às duas sequências. No aspecto metamórfico, os autores, a partir de evidências de migmatitos granulitizados e de granulitos migmatizados, concluíram pela ocorrência de processos de migmatização anteriores aos eventos granulitizantes, seguidos por metamorfismo em facies anfíbolítico e diaforese em xisto-verde.

Figueiredo em 1976 (apud Lindenmayer, 1981), concluiu por uma origem sedimentar, de ambiente plataformal para as rochas do Grupo Caraíba da região de Poço de Fora, ao sul da área de estudo. Para os mafitos-ultramafitos mineralizados a cobre, foi aventada uma filiação genética vulcânica, bem como episódios de migmatização teriam ocorrido antes da granulitização.

Jardim de Sã et alii (1976), na análise de dados geocronológicos da região, definiu o Complexo Caraíba, em substituição ao antigo Grupo Caraíba.

Moraes e Silva (1978) propuseram para a faixa uma sucessão estratigráfica, compondo dois compartimentos granulíticos, separados por um referencial termo-estratigráfico híbrido (migmatítico-granulítico). Litologias de origem ligada a derrames vulcânicos, básico-intermediários, muito deformadas, estariam dispostas preferencialmente na zona interface entre os compartimentos granulíticos e a unidade híbrida.

Lindenmayer (1981), nos resultados para o alto Vale do Curaçã, separa um embasamento gnáissico de composição granodiorítica a quartzo-dio-

rítica, predominantemente tonalítico, com intercalações gábricas, sotoposto a uma sequência supracrustal de sedimentos clásticos na base e químicos no topo, similares aos sedimentos plataformais arqueanos. Nas rochas supracrustais, encaixam-se sills ou intrusões sub-concordantes máficas - ultramáficas, mineralizadas a cobre. O conjunto embasamento, supracrustal e intrusivas, teria sido levado às condições do facies granulítico de P média e T baixa, retrabalhado posteriormente por eventos de deformação, migmatização e metamorfismo de facies anfibolítico e xisto-verde.

Figueiredo (1981) sugeriu para o Complexo Caraíba, um modelo com a participação de uma sequência supra-crustal com rochas félsicas-intermediárias, derivadas por metamorfismo de arcósios-grauvacas e/ou tufos e vulcanoclásticos dacíticos-andesíticos. Vulcanismos toleíticos e basaltos com alto Mg, originariam os orto-mafitos, enquanto que tufos básicos intercalados nas rochas félsico-intermediárias, ocasionariam os melanossomas dos migmatitos e os paramafitos. Para as rochas carbonato/cálcico-silicatadas e formações ferríferas, foi concluída uma origem sedimentar química. O metamorfismo atingiu condições do facies granulítico (T de 750 a 850° C), com exumação do bloco crustal relativamente rápida.

Geocronologicamente, a região do Vale do Rio Curaçá apresenta como característica marcante a sua estabilização, em seguida ao ciclo Transamazônico, não tendo sido posteriormente regenerada, integrando-se assim ao Craton do São Francisco.

Uma feição importante na região é a Serra de Itiúba, constituída de um grande corpo sienítico, direção norte-sul, com mais de 100 Km de extensão. As características estruturais deste ortognaisse sienítico, exibindo contatos bruscos com as litologias do Complexo Caraíba, bem como a presença de xenólitos deste, atestam uma coloração intrusiva, com origem provavelmente ligada à fusão parcial, a partir do manto (Figueiredo, 1981).

Para leste, seguindo a borda oriental do divisor sienítico, o domínio anterior de alto grau, grada para ambientes de menor grau metamórfico, com faciologia variando de anfibolito alto a xisto-verde, constituindo os terrenos granito-gnaiss/greenstone (Inda et alii, 1976).

Para o sul, ainda dentro desta nova faixa, estariam englobados o "Greenstone belt de Serrinha", definido por Mascarenhas (1973); o "Protocraton de Serrinha" de Pedreira et alii (1978); o "Complexo Vulcano-Sedimentar de Uauá-Serrinha" de Inda e Barbosa (1978); o "Complexo de Serrinha" e o "Greenstone belt" correspondente de Mascarenhas (1979, 1981) ou

o "Greenstone belt do Rio Itapecuru" de Kishida e Riccio (1981).

Nesta faixa oriental, os traços geológicos mais gerais são delimitados por domos de rochas plutônicas, alongados segundo N-S, circundados por cinturões de rochas supra-crustais. Apesar do claro estilo tectônico curvilíneo, o estiramento segundo N-S é intenso, tendendo para um estilo linear na periferia (Pedreira et alii, 1978).

O metamorfismo varia do facies xisto-verde para o sul, a anfíbrito alto para as bordas e para o norte, constituindo os "terrenos granítico-gnáissico" na periferia e os "terrenos granítico-gnáissico-greenstone" no núcleo (Kishida e Riccio, 1981).

Estes autores distinguem na área sul, três sequências litológicas, com uma disposição estratigráfica ligada a um modelo de greenstone belt: sequência metavulcânica máfica, basal, constituída de xistos máficos e corpos anfibolíticos, associada a "cherts" e formações ferríferas; sequência metavulcânica félsica, com lavas e piroclásticas, e sequência metassedimentar, com xistos pelíticos e metagrauvas, passando a metarcósios e metaconglomerados. Todo este conjunto foi afetado por metamorfismo em facies anfibolítico, com retrogradações ao facies xisto-verde. No interior e adjacente à borda da faixa, são marcantes as formas dômicas, constituídas de granitos-gnáissicos e gnaisses bandados, em torno das quais parece aumentar o grau metamórfico das supra-crustais.

Jardim de Sá (1982), concluiu que o greenstone belt de Serrinha (Itapecuru) tem um embasamento pelo menos em parte gnáissico. Embora as vulcânicas básicas possuam quimismo de toleítos oceânicos, a suposição de um tal ambiente é contraditada pela ocorrência de um embasamento gnáissico, aventando que a química das vulcânicas independeria do ambiente tectônico.

Embora sem datações conclusivas (Brito Neves et alii, 1980), sugere-se uma idade arqueana para esta faixa, em correlação com a sequência do Rio Capim, a norte, cuja isócrona Rb/Sr, forneceu valores de 3.1 Ga, para um tonalito gnáissico intrusivo na mesma (Jardim de Sá, 1982).

As relações existentes entre o Greenstone belt do Itapecuru e a faixa de alto grau do Vale do Curaçã, não foram ainda suficientemente estudadas, nem estabelecidos a contento os seus domínios espaciais.

Assim, em 1978, Inda e Barbosa, sob a designação de Uauã-Serrinha englobam as sequências magmáticas e metamórficas, que existem continuamente desde a região de Serrinha e seguem para norte, até as proximidades de

Curaçã, envolvendo o "Complexo do Rio Capim", de Andritzky (1971) e Leube (1972), e as litologias algo semelhantes da sequência Tanque Novo, de Delgado e Souza (1975).

Jã Mandetta (1983), na discussão dos domínios do terreno de alto grau do Curaçã, menciona que os limites oriental e ocidental da faixa, estariam correlacionados respectivamente, ao grande falhamento que acompanha a borda oeste da Serra de Itiúba e a zona de contatos gradacionais e difusos, que a faixa exhibe com unidades migmatíticas-gnaissicas, sobre as quais se superpõem os metassedimentos da Serra de Jacobina. Para as porções norte e sul da faixa, os limites são controvertidos, sendo atualmente aceita sua extensão norte até as proximidades de Barro Vermelho, onde passariam a vigorar uma sequência de gnaisses a hornblenda e biotita, extensos corpos gabronoríticos e ultramafitos olivínicos. Na porção sul, a sequência granulítica e intrusivas máficas-ultramáficas associadas, ocorreriam até a localidade de Suçuarana, passando então a predominar gnaisses - migmatíticos, granitos e pegmatitos quartzo-feldspáticos (Figura 4.3).

Mascarenhas (1981) menciona que, embora em vários locais, contatos falhados possam ser observados, a expectativa é de que ocorram contatos aproximados ou prováveis, devido a dificuldades de delimitação das rochas nos dois ambientes e, também, como resultado da policiclicidade de eventos deformacionais, extensivos aos dois ambientes.

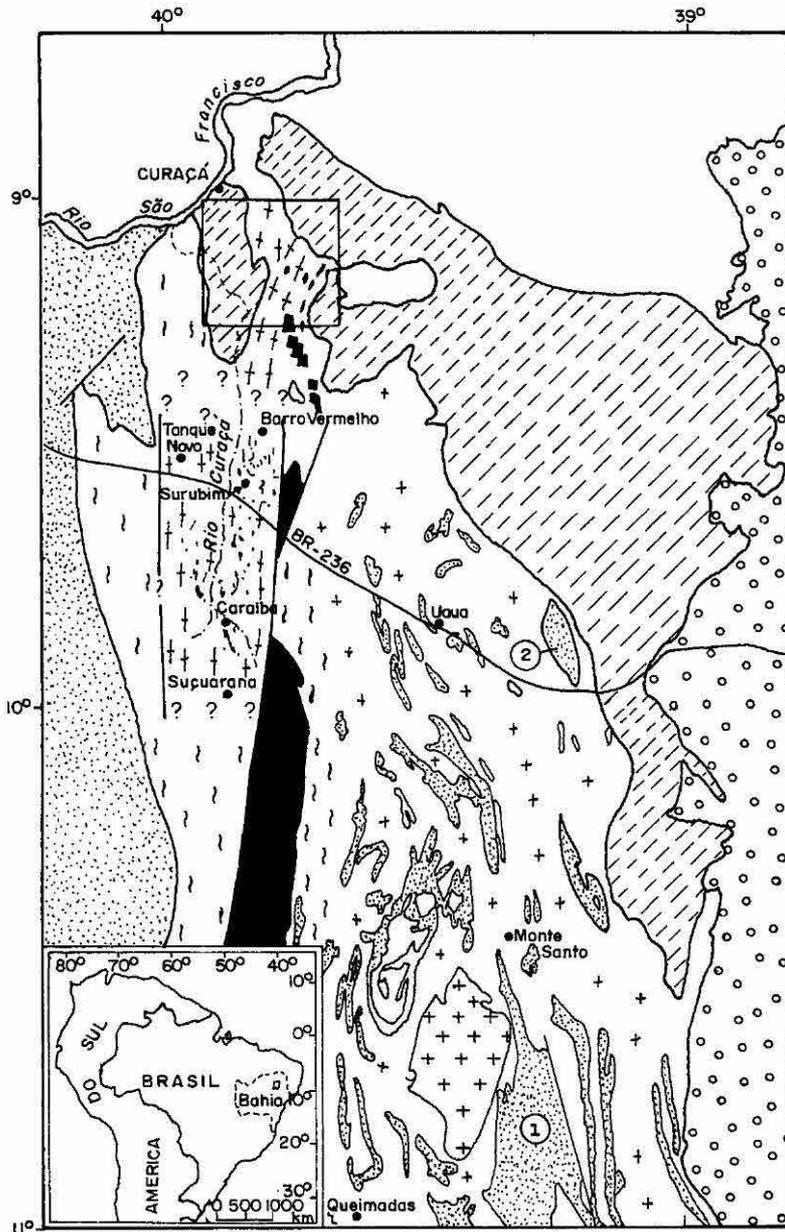
Neste aspecto, a análise de contribuições sobre eventos deformacionais, tem mostrado controvérsias.

Leube (1972), em um esquema generalizado para o norte baiano, conclui pela presença de eventos de deformação, gerando foliações em padrões polifásicos, dispostos segundo E-W (deformação mais antiga); N-S, N-S e NW-SE, e com evento tardio, com esforços gerando zonas de cisalhamento das quais resultam lineações N-S.

Inda e Barbosa (1978), também em caracterizações regionais, reconhecem uma fase mais antiga no NE da Bahia, de foliações e lineações E-W (Arqueana), modificada por efeitos de esforços posteriores, com elementos planares e lineares, dispostos segundo N-S (Transamazônico).

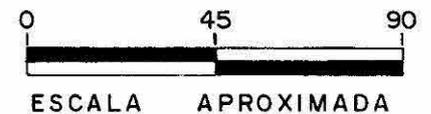
Mascarenhas (1979, 1981) generaliza pela policiclicidade de deformações extensivas aos dois domínios, definida por meio de 3 fases superpostas: a inicial, de foliações sub-horizontais, uma segunda fase de dobramentos normais simétricos/assimétricos, planos axiais sub-verticais e eixos de dobras NNE, e uma terceira fase, definida por ondulações de eixos

GEOLOGIA(*) SIMPLIFICADA DO NORDESTE DA BAHIA COM A LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE PESQUISA



LEGENDA

- Sequências sedimentares fanerozóicas (Bacia de Tucano)
- Filitos, calcários e mármore (Grupo Canudos)
- Quartzitos, migmatitos e gnaisses (Grupo Jacobina)
- Gnaise sienítico (Serra de Itiuba)
- Terrenos granito-greenstone
- Sequências vulcano-sedimentares, tipo greenstone-belts (e granitos associados)
① - Itapicuru
② - Rio Capim
- Terreno gnáissico-migmatítico
- Terreno granulítico-gnáissico do Vale do Curaçá
- Sequência gnáissica-granulítica
- Sequências máfico-ultramáficas
- Área de estudo (Baixo Vale do Curaçá)



(*) Adaptado de MANDETTA (1983)
Geologia baseada em Pedreiras et alii (1978)
Mascarenhas (1981), Kishida e Riccio (1982),
e Mandetta (1983).

Figura 4.3

da fase anterior para sul e norte.

Jardim de Sã (1982), no estudo de afloramentos no Greenstone belt do Itapicuru, reconhece um embasamento para o conjunto, pelo menos em parte gnáissico, previamente deformado, com uma sequência supra-crustal tendo sofrido no mínimo 5 fases de deformações.

Lindenmayer (1981) concluiu para o alto Vale do Curaçã, por uma sequência de duas fases de dobramentos com eixos N-S, seguidas por uma fase final de eixos EW a NW-SE, ocasionando ondulações das charneiras das dobras mais antigas. Tais fases teriam se desenvolvido sob condições metamórficas dos facies granulítico, anfíbolítico e xisto-verde, respectivamente.

De modo geral, este mesmo modelo de evolução metamórfico-deformacional é reconhecido por Hasui et alii (1982), sendo que estes autores não reconhecem uma fase inicial, mais antiga na região, de eixos E-W, mencionada em trabalhos prévios, admitindo que tais feições estruturais poderiam sim, ser causadas por perturbações (deslocamentos) de dobras em F_1 , em áreas restritas e de elevada plasticidade.

Archanjo, em 1981 (apud Jardim de Sã et alii, 1982), apresenta uma sub-divisão estratigráfica inédita para a região de Poço de Fora, onde unidades foram separadas a partir de critérios estruturais de campo, dos metamórficos e análise de deformações de corpos ígneos.

Jardim de Sã et alii (1982) apresentam um outro modelo deformacional para o médio/alto Curaçã, com 5 eventos: (D_1) com dobramentos isoclinais, eixos N-S e transposições; (D_2) com dobramentos isoclinais, eixos E-W; (D_3) com dobramentos isoclinais, eixos N-S, associados a zonas de cisalhamentos N-S; (D_4) com dobramentos abertos, eixos N-S e zonas de transcorrência NE; (D_5) com dobras amplas e suaves, eixos E-W e falhas normais. Do ponto de vista metamórfico, estes autores concluem por processos de metamorfismo de facies anfíbolítico atuantes, antes dos eventos de facies granulítico, anfíbolítico e xisto-verde.

Outro aspecto interessante nos domínios, refere-se aos mafitos/ultramafitos presentes. Dois grupos ocorrem: um mineralizado a cobre (Curaçã) e outro a cromita (Jacurici).

A partir dos dados de Lindenmayer (1981), Mandetta (1983) e dos trabalhos da Caraíba Metais S/A, são reconhecidos quatro tipos de associações para o Vale do Curaçã:

- 1) associações de piroxenitos, noritos e gabronoritos;
- 2) associações noríticas com intercalações piroxeníticas, gabro- noríticas e de gabro;
- 3) associações de ultramáficas e fêlsicas afetadas por metassomatismo;
- 4) associações ultramáficas a olivina com envoltório gabrônico.

Os três primeiros conjuntos são mineralizados a cobre.

Figueiredo (1981) propõe um modelo a partir de uma origem vulcânica toleiítica para estas máficas, enquanto Lindenmayer (1981) conclui também por uma mesma filiação, possivelmente proveniente de um líquido basáltico previamente diferenciado, sã que ligada a intrusões na forma de sills pré-tectônicos.

Para os terrenos granito-gnaiss-greenstone, os estudos são ainda insuficientes.

Inda et alii (1976), na cartografia geológica da Folha Euclides da Cunha, reconhecem uma vasta sequência de metabasitos e metaultrabasitos incluindo anfibolitos, metahornblenditos, metapiroxenitos, metagabros e serpentinitos.

Ao sul, no vale do Jacurici, aparecem vários depósitos e ocorrências de cromita, sendo mais importantes os depósitos de Ipueira e Medrado, associados a serpentinitos estratificados, sobreposto por gabros.

Embora as conclusões de Lindenmayer (1981), Figueiredo (1981), Kishida e Riccio (1981) e Mandetta (1983), mostrem convergências quanto às afinidades toleiíticas manifestadas nos dois domínios, as relações existentes entre as duas faixas de máfitos e ultramáfitos, ainda não foram suficientemente desvendadas, principalmente em direção ao norte.

Baseados nos dados disponíveis, parece razoável supor que as similaridades litológicas, estilos estruturais e gradações metamórficas, indiquem que a faixa de alto grau do Curaçá e o Greenstone belt do Itapecuru representem níveis profundos e rasos, respectivamente, de uma mesma unidade tectônica, como aventado por Mascarenhas (1979, 1981), Figueiredo (op. cit.) e Mandetta (op. cit.).

Almeida (1981), na mesma linha de abordagem, conclui que o craton do Paramirim teria participado, no Arqueano, de uma sucessão supra-crustal contínua, e que elevações durante eventos posteriores (Jequiê ou Transamazônico), tenha colocado blocos distintos em contato.

Os dois domínios discutidos, denotando estruturas pré - Brasília-

nas, são cruzados transversalmente no extremo NNE da Bahia, por uma sequência de rochas supra-crustais deformadas, metamorfas e regeneradas durante o evento Brasileiro, constituindo parte da "Província Borborema" (Almeida et alii, 1981).

Tais metamorfitos compõem a parte ocidental do Sistema de Dobramentos Sergipano, com "trend" disposto segundo NW-SE, situando-se tectonicamente entre o Maciço Pernambuco - Alagoas (Brito Neves, 1975), que os separa dos Sistemas de Dobramentos Brasileiros do Nordeste e do Craton do São Francisco, ao sul.

Uma detalhada análise do histórico de contribuições sobre o Sistema de Dobramentos Sergipano, foi apresentada por Brito Neves et alii (1978), sendo tectonicamente diferenciadas 4 grandes zonas ligadas a esta importante entidade geotectônica do Proterozóico Superior: a Faixa Sergipana, a Zona Geanticlinal de Propriá, a Faixa Sul-Alagoana e o Maciço Pernambuco-Alagoas.

Na região do baixo Vale do Rio Curaçá, os metamorfitos presentes estariam correlacionados às sequências psamíticas basais e pelítico-psamíticas-carbonáticas, da Faixa Sul Alagoana e às sequências terrígena-carbonáticas e pelítico-carbonáticas da Faixa Sergipana.

Neste trecho do território baiano, o limite sul do Sistema de Dobramentos Sergipano tem sido colocado segundo a linha de descontinuidade, que separa os sedimentos horizontalizados a moderadamente dobrados, dos sedimentos dispostos mais a NE, com maior grau metamórfico, fortes dobramentos isoclinais e eixo B, variando de NW a N-S, à medida em que se aproxima de Curaçá.

Este limite corresponde aproximadamente ao contato entre as sequências "mármore/filítica" e "mica-xisto/gnaissica", do "Sinclínório do Curaçá", definido por Jordan em 1971, ou ao traço da suposta falha de empurrão, presente no mapa de Barbosa et alii (1964), separando as rochas do "Grupo Canudos + Série Bambuí" das do "Grupo Macururê" (pró-parte).

Estes metamorfitos foram inicialmente reconhecidos na área, por Barbosa et alii (op. cit.), associados aos grupos "Macururê", constituído por paragneisses, mica-xistos e quartzitos micáceos; "Canudos" com filitos, filitos carbonáticos e calcários, e "Bambuí", representados por calcários pouco metamorfisados.

Os trabalhos desenvolvidos pela SUDENE-Missão Geológica Alemã, propiciaram a Jordan, em 1971, propor um modelo evolutivo para a área, de-

finindo a "Série Canudos-Bambuī", com suas sequências "mica-xisto/gnáissica" e "mármore/filítica", compondo o "Sinclinório do Curaçã", de eixo NW-SE e vergência para SW.

Delgado e Souza (1975), em mapeamento 1:50.000, englobando a parte ocidental de exposições deste metamorfitos na área de pesquisa, propuseram sob a denominação de "Grupo Canudos", uma sub-divisão estratigráfica com duas sub-unidades: a basal, Unidade Vermelhos, composta por mármores a xistos carbonáticos, e a superior, Unidade Veneza, constituída de filitos a mica-xistos.

Brito Neves et alii (1978) e Inda e Barbosa (1978) correlacionam parte dos metassedimentos da sequência "mármore-filítica", de Jordan (op. cit.), a depósitos de cobertura pericratônica sobre o ambiente plataformal do Craton do São Francisco, idiomorficamente perturbados e ocorrendo na Serra da Cana Brava, e descontinuamente até as proximidades de Curaçã.

As determinações geocronológicas disponíveis para o Sistema de Dobramentos Sergipano, fornecem idades entre 500 e 700 milhões de anos, com "climax" de metamorfismo ocorrendo por volta de 650 milhões de anos e episódios finais em 480 milhões de anos.

Alguns modelos geotectônicos têm sido propostos para este domínio como os de Humphrey e Allard; Brito Neves; Mello et alii; Santos e Silva Filho e Brito Neves et alii, apud Brito Neves et alii (1978). Porém, tais hipóteses ainda enfrentam restrições que impossibilitam uma generalização.

4.3 - A Geologia e seus aspectos litológicos principais

À exceção dos depósitos recentes, o Baixo Vale do Curaçã encerra fundamentalmente tipos litológicos de idade proterozóica superior, até remanescentes arqueanos.

Do ponto de vista geológico, o avanço no conhecimento da região sempre esteve ligado à intensa atividade de pesquisa para depósitos cupríferos no norte da Bahia, cuja ênfase de trabalhos se concentrou próxima à jazida de Caraíba, situada mais ao sul da área. Deste esforço, resultaram inúmeras contribuições, enfocando aspectos variados (Melo Jr. e Pouchain, 1962; Leinz, 1948; Barbosa et alii, 1964; Barbosa, 1966; Lewis Jr. et alii 1964; Ladeira e Brockes Jr., 1969; Jordan, 1968 e 1971; Leube, 1972; Delgado e Souza, 1975; Mattoso, 1975; Lindenmayer, 1981; Figueiredo, 1981; Jardim de Sã et alii, 1982; Hasui et alii, 1982 e Mandetta, 1983).

Vários fatores têm contribuído para a dificuldade encontrada no mapeamento geológico desta região. Primeiro, a baixa densidade de afloramentos encontrada, fazendo com que somente os representantes mais quartzosos ou mais homogêneos, isotropos, constituam afloramentos. Normalmente, os afloramentos que ocorrem são descontínuos, restritos, são alguns com grande extensão, destacando-se como "inselbergs" na superfície pediplanizada. Isto obriga à busca de exposições ao longo dos riachos, que cortam a área, nem sempre se encontrando, em locais de interesse, amostragens que possam ser diagnósticas das litologias presentes, pela grande alteração exibida.

Um fato comum observado sobre este extenso pediplano, é a ocorrência de fragmentos espalhados de rochas intemperizadas, constituídos de diversos tipos litológicos. Isto torna a descrição da litologia, representativa da unidade, forçosamente generalizada e incompleta, e impede ou dificulta a análise petrográfica expedita. Também, com os dados normalmente disponíveis em grande parte dos afloramentos, as características de reconstrução de fases deformacionais são prejudicadas, obrigando, pela ausência de evidências, à reservas nas regionalizações.

Aliado a estes aspectos, tem-se a complexidade geológica da área, dificultando o estabelecimento de relações estratigráficas, fato comum em ambientes de alto grau, ligada à intensidade dos efeitos metamórficos e deformacionais, de características polifásicas e policíclicas.

Por último, fatores outros, tais como o clima, que pela temperatura elevada, torna penoso o trabalho de campo na estiagem e impede, em parte, o uso contínuo de veículos e equipamentos de campo nas fases de chuvas torrenciais; a necessidade de uma base cartográfica melhor que a disponível atualmente, e a dificuldade de acesso a alguns locais na região, como no extremo NE, onde grandes extensões dos metamorfitos de baixo grau do Grupo Canudos, estão cobertos por vegetação contínua e fechada de caatinga, dificultando observações diretas, têm colaborado também para que não se tenha ainda um quadro geológico e de potencialidade mineral melhor elaborado.

Neste contexto, a utilização de informações indiretas, especificamente, as obtidas das fotos aéreas pancromáticas, utilizadas insistentemente nas décadas de 60 e 70 pela MGA/SUDENE e CPRM, foi vital para a base do conhecimento geológico atual e para a localização dos principais corpos de mafitos e ultramafitos do NE baiano, viabilizada pela baixa densidade de vegetação e presença de solos residuais.

Infelizmente, os custos elevados dos aerolevantamentos, a ausência de bons recobrimentos em pequena escala (as fotos da USAF em 1:60.000, recobrem apenas pequenas áreas do Curaçã, devido a problemas de cobertura de nuvens) e os inconvenientes do manuseio de produtos de grande escala (elevado número de fotos, necessidades de mosaicos utilizando faixas de vôos com distorções e condições de iluminação diferentes, impossibilidade de visualização precisa dos grandes traços regionais), colocam limites operacionais para o uso generalizado de fotografias pancromáticas, em abordagens regionais.

Este quadro de adversidades explica, em grande parte, as dificuldades encontradas ao avanço no conhecimento geológico do Vale do Curaçã, considerada uma das regiões com maior densidade de informações geológicas do país.

Uma análise bibliográfica das contribuições que diretamente abordaram os tipos litológicos e a cartografia geológica, dentro dos limites da área do trabalho, permite discernir 3 fases de conhecimento.

Inicialmente, Barbosa et alii (1964), nos levantamentos realizados pelo Convênio DNPM/Prospec, reconheceram na área (Folha Uauã-NO, escala 1:100.000), unidades litológicas-estratigráficas, assim denominadas:

- a) Grupo Caraíba (basal): gnaisses e migmatitos com paleossoma anfibolítico preponderantes, migmatitos biotíticos, leptinitos, calcários sacaróides e um piroxênio-gnaisse na Serra Redonda. Manifestações graníticas, granodioríticas e tonalíticas ocorreriam neste grupo, além de corpos básicos e ultrabásicos (gabros e piroxenitos), mineralizados a cobre.
- b) Grupo Macururé: mica-xistos, paragnaisses, quartzitos micáceos (médio a moderado grau de metamorfismo). Em alguns locais, migmatização incipiente e granitos circunscritos "intrusivos", também teriam sido constatados.
- c) Grupo Canudos: filitos, xistos carbonáticos e calcários, de granulação fina, listrados e dobrados.
- d) Grupo Bambuí: calcários pouco metamorfisados, constituindo a Serra da Cana Brava, assentando-se discordantemente sobre os filitos do Grupo Canudos. Manifestações sieníticas foram reconhecidas na Serra Redonda, continuidade norte da dorsal de Itiúba.

As relações de campo observadas na região, permitiram aos autores concluir que as rochas do Grupo Macururé, estariam dispostas sobre as do

Grupo Canudos, por empurrões dirigidos de E para W.

A segunda fase de contribuições está ligada aos resultados obtidos entre 1967 a meados de 1972, pela Missão Geológica Alemã, em convênio com a SUDENE.

Assim, Jordan (1968) apresenta em mapa geológico, escala 1:50.000, conclusões das investigações realizadas na faixa oriental da região, atendendo-se às relações entre os metassedimentos dos Grupos Canudos e Bambuí. O autor conclui pela inexistência de discordância entre os grupos, sendo observado na Serra da Cana Brava, uma transição gradual entre o pacote superior de mármore/calcário e as rochas mais filitosas, que pertenceriam a um mesmo ciclo deposicional.

Em 1971, Jordan propõe um modelo evolutivo para a área, definindo as sequências mica-xisto/gnáissica (superior) e mármore/filítica (inferior), constituindo um grande sinclínorio ("Sinclínorio do Curaçá"), de eixo NW-SE e vergência para SW. Esta sequência constituiria a "Série Canudos-Bambuí".

A sequência mármore/filítica conteria calcários metamorfisados, filitos carbonáticos, filitos e quartzitos. Os mármore mostram, no geral, pequeno conteúdo de muscovita e leitos alternados de filitos carbonáticos. Os filitos, em muitos locais, passam a mica-xistos, onde a sericita cede lugar à muscovita. Entre estas duas variedades de metamorfitos, existe ampla gama de variações.

A sequência mica-xisto/gnáissica é caracterizada pela interposição nos filitos e mica-xistos, de gnaisses (metarcósios) e pela ocorrência de mica-xistos granatíferos, ao passo que calcários e filitos carbonáticos estão ausentes.

Nos filitos e mica-xistos predominam quartzo e muscovita, subordinadamente albita, clorita e grafita. A maioria dos gnaisses difere dos mica-xistos, apenas pelo conteúdo elevado de albita. O limite da sequência mármore/filítica e mica-xisto/gnáissica é, portanto, marcado por uma mudança de facies deposicionais, com materiais transformados posteriormente por metamorfismo regional (epi a mesozona, facies xisto-verde de Turner) em filitos, mica-xistos e gnaisses.

A paragênese mineral dos metamorfitos da sequência mármore/filítica, seria a correspondente ao sub-facies quartzo-albita-epidoto-biotita. Na região mais central do "sinclínorio", com a presença de gnaisses com albita, atingir-se-iam até condições do sub-facies quartzo - albita-epi

doto - almandina.

Em 1972, A. Leube, nos resultados finais dos trabalhos da MGA no Brasil, tece mais considerações sobre os aspectos litológicos/petrográficos dos vários grupos ou associações da região.

Assim, o Grupo Caraíba, de Barbosa et alii (1964) e Barbosa (1966) seria predominantemente constituído por gnaisses bandados e migmatitos estromáticos. Localmente, gradações para termos diatexíticos e rochas com estruturas nebulíticas são vistas. É digno de menção, a citação de gnaisses bandados com abundantes enclaves anfibolíticos, no centro sul da área, e de uma variedade de gnaisses, caracterizados pelo alto teor de ortopiroxênio e anfibolitos, ocorrendo a NW da Serra Redonda.

Diversos complexos de metabasitos aparecem associados aos gnaisses/migmatitos Caraíba, dispostos de modo alongado, segundo a direção geral de foliação N-S e com afloramentos lenticulares. Sobre tais corpos desenvolve-se por intemperismo, um solo com coloração cinzenta, clara e escura, ou castanha-escura, bem contrastante nas fotos aéreas, com os gnaisses encaixantes, de solos com tonalidades bem mais claras.

Assim, para o baixo Vale do Curaçá, seria possível discernir de oeste para leste, o seguinte zoneamento dos metamorfitos: gabros e anfibolitos ocorrendo a oeste, duas faixas mais centrais, uma de piroxenitos e outra mais oriental, com tipos mais diversificados, i. é, metagabros, metahiperitos, anfibolitos, metadioritos, etc., e finalmente, no extremo oriental, a norte da Serra da Cana Brava, ultrabasitos. Em relação à gênese destes corpos, Leube conclui por diferenciações a partir de um magma gabroide, metamorfisado nas paragêneses do fácies anfibolítico.

Para a Serra Redonda, são mencionados sienitos, de granulação grosseira, compostos essencialmente de feldspatos alcalinos, piroxênio e hornblenda. Nas bordas da Serra, devido às ações tectônicas, encontram-se termos que variam de metasienitos a sienitos xistificados, que no extremo tectonismo atingem tipos de estrutura cataclástica-milonítica.

Nos gnaisses e migmatitos do Grupo Caraíba, Leube também menciona a presença de "enclaves" intensamente dobrados de epidoto-diaforitos, concordantes com a direção das encaixantes. Devido ao seu alto conteúdo de quartzo, tais rochas formam cristas marcantes, de topografia saliente. Sobre as zonas ricas em epidoto, desenvolve-se uma cobertura intemperizada, formando um solo de coloração castanho-avermelhada. Nas fotos aéreas, são estes milonitos epidotizados facilmente reconhecíveis, como faixas estreitas

tas e de tons não tão escuros, como os observados nos complexos de metabasitos.

A última fase de contribuições geológicas sobre a região, advém com o mapeamento geológico sistemático do Distrito Cuprífero do Rio Curaçã, quando foi levantada entre 1970-1975, a Folha de Curaçã (SC - 24 - V D - II - 1), na escala 1:25.000, dentro do Convênio DNPm-CPRM (Delgado e Souza, 1975).

Neste trabalho, os autores propõem, a partir de trabalhos anteriores de Ladeira e Brockes Jr. (1969), uma sub-divisão litoestratigráfica do Grupo Caraíba para o Vale do Curaçã, representado na área por uma sequência basal - Sequência Rio Curaçã; uma superior - Sequência Tanque Novo, de idades Arqueana-Proterozóico médio, constituindo uma grande estrutura em anticlinório ("Braquianticlinório do Curaçã"). Para o Grupo Canudos, admitido como do Proterozóico Superior, é proposta uma sub-divisão em duas unidades: Vermelho (inferior) e Veneza (superior).

A Sequência Rio Curaçã mostra uma distribuição muito restrita na região de estudo, ocorrendo numa faixa meridiana no centro da área e está representada por uma das suas cinco unidades, definidas regionalmente, i. e., a Unidade Cachoeira.

Esta unidade é tipificada por uma litologia predominantemente migmatítica, com estruturas estromáticas e subordinadamente "folded", "schlierem" e "nebulítica". Fenômenos de anatexia "in situ", propiciaram a formação de núcleos com tipos graníticos e adamelíticos, cinzas e róseos. Intercalações de níveis anfibolíticos podem ocorrer, bem como de gnaisses félsicos, essencialmente quartzo-feldspáticos.

Rochas máficas-ultramáficas estão também presentes, encaixadas concordantemente com a estruturação regional, sendo mais raros os níveis de cálcico-silicatadas.

A foliação da Unidade Cachoeira dispõe-se segundo N-S, com mergulhos ao redor de 50 W. A estruturação perfaz uma anticlinal alongada, de direção meridiana. A litologia da unidade exhibe paragênese mineral típica do fácies anfibolítico. Sua origem é admitida como ligada à atuação do metamorfismo regional e da migmatização, sobre uma sequência sedimentar primitiva.

A Sequência Tanque Novo é constituída de diversos tipos de gnaisses parcialmente migmatizados, quartzitos em camadas espessas ou delgadas, níveis estreitos de cálcico-silicatadas, quartzitos ferríferos, bem como

corpos de rochas máficas-ultramáficas.

Esta associação litológica representaria uma sequência sedimentar primitiva, com a predominância na área de sedimentos mais pelíticos e margosos (Unidade Banguê) e culminando com sedimentos psamíticos no topo (Unidade Bogô).

A Unidade Banguê repousa discordantemente sobre a Unidade Cachoeira, com a qual mantém contatos parcialmente falhados.

A feição mais marcante nesta unidade é a presença constante de um biotita-gnaisse bandado, acompanhado por intercalações fêlsicas (gnaisse quartzo-feldspático) e anfibolíticas, de dimensões variadas.

A migmatização destes gnaisses é evidente em alguns locais e geralmente se manifesta através da presença de vênulas leucocráticas (neosomas de quartzo-feldspato-granitos a adamelitos) de cor rósea ou cinza, cortando ou acompanhando em parte o bandamento.

As intercalações ácidas, características da unidade, manifestam-se através de gnaisses fêlsicos, que podem exibir quantidades variáveis de máficos, tais como hornblenda, biotita, tremolita e, menos comumente, diopside e hiperstênio (granulitos ácidos).

A presença de corpos máficos anfibolíticos é comum na unidade. Tais corpos intercalam-se concordantemente com as rochas encaixantes, ora constituindo o bandamento máfico dos gnaisses, em uma relação tipicamente sedimentar, ora consistindo corpos de dimensões de até 300 metros de extensão. Corpos de mafitos-ultramafitos são também frequentes nesta unidade, envolvendo piroxenitos serpentinizados e serpentinitos, sendo mais raros corpos de composição gabro-dioríticos.

A presença constante de tais mafitos-ultramafitos confere uma textura típica na unidade e de fácil identificação nas fotos aéreas. Rochas cálcico-silicáticas aparecem também com certa frequência na unidade, associadas em alguns locais, com os corpos máficos-ultramáficos. Níveis de quartzitos ferríferos ocorrem subordinadamente.

Estruturalmente, a Unidade Banguê dispõe-se em uma série de dobras isoclinais, com flancos invertidos e eixo segundo N-S. Falhamentos dispostos segundo NE-SW e ESE-WNW cortam a unidade em muitos locais.

As litologias da Unidade Banguê possuem paragênese pertencentes ao facies metamórfico do anfibolito, embora em alguns locais, o metamorfismo tenha atingido o facies granulítico. Localmente, em zonas falhadas e fraturadas, aparecem associações típicas do facies do xisto-verde.

A Unidade Bogó sucederia estratigraficamente a Unidade Banguê, constituindo uma sequência de paragnaises, situada em uma faixa meridiana no extremo ocidental da área de estudo. Esta unidade é tipificada pelo solo arenoso de cores claras (esbranquiçado, cinza e pardo) e pela vegetação constituída predominantemente por carqueja e calumbi.

Como litologia típica ocorre um quartzo-feldspato gnaisse, sendo que em alguns casos pode ocorrer migmatização, bem como a presença de faixas quartzíticas.

Além destes tipos litológicos, ocorrem estreitas e alongadas intercalações de rochas cálcico-silicáticas e quartzitos ferríferos. Rochas máficas e ultramáficas são quase ausentes, restringindo-se a pequenos e esparsos corpos anfibolíticos. Falhamentos e grandes fraturas são encontrados nas unidades, dispostos predominantemente segundo NE-SW.

Com relação às rochas granitóides, merece destaque a presença de corpos regionalmente concordantes de granitos e adamelitos róseos nas três unidades, sendo rochas supostamente de origem anatética.

Sobre as rochas do Grupo Caraíba, dispõe-se discordantemente uma sequência metassedimentar, de baixo grau metamórfico, constituída principalmente por filitos, mica-xistos e calcários metamórficos. Tais rochas, correspondentes ao Grupo Canudos, do Sistema de Dobramentos Sergipano, foram sub-divididas em duas unidades, por Delgado e Souza (1975): Vermelhos (basal) e Unidade Veneza (superior).

A Unidade Vermelhos é composta por calcários metamorfisados, listrados, com intercalações delgadas de metarcósios e variações locais para xistos carbonáticos. Com os mica-xistos da Unidade Veneza, os contatos são falhados ou transicionais: calcários passam a xistos carbonáticos que gradam a xistos.

O tipo litológico comum na Unidade Veneza, é um mica-xisto de cor variada e constituído essencialmente por quartzo, plagioclásio (albita), muscovita e biotita. Em vários locais, estas rochas gradam para filitos, xistos carbonáticos e mica-xistos granatíferos.

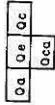
As litologias das Unidades Vermelhos e Veneza são provenientes de metamorfismo regional de facies xisto-verde, imposto às sequências pelíticas e areno-argilosas e, estruturalmente, constituiriam uma suave estrutura sinclinal, cujo eixo seria balizado pelo curso do Rio Curaçã.

A Figura 4.4 sintetiza a cartografia geológica atual para a região do Baixo Vale do Rio Curaçã, que servirá de referência básica para as discussões dos capítulos seguintes.

GEOLOGIA DO BAIXO VALE DO CURACÁ, BAHIA

(Mapa simplificado e adaptado aos propósitos da pesquisa a partir de : JORDAN, 1966, LEUBE, 1972, e DELGADO e SOUZA, 1975.)

CONVENÇÕES (*)



Oe ALUVIÃO (Oe); ELUVIÃO ARENOSO-GROSSEIRO (Oe), COBERTURA ARENÓ-ARGILOSA CALCI-FERA (Oe)
Oc CALCÁRIO CARÍNGIA (Oca)

GRUPO CANUDOS

- MÁRMORES / MÁRMORES INTERCALADOS COM FILITOS
- FILITOS A MICAXISTOS
- MÁRMORES PREDOMINANTES, ALGUMAS VARIÁÇÕES PARA CALCIO-XISTOS E METACÓSIOS

GRUPO MACURURÉ

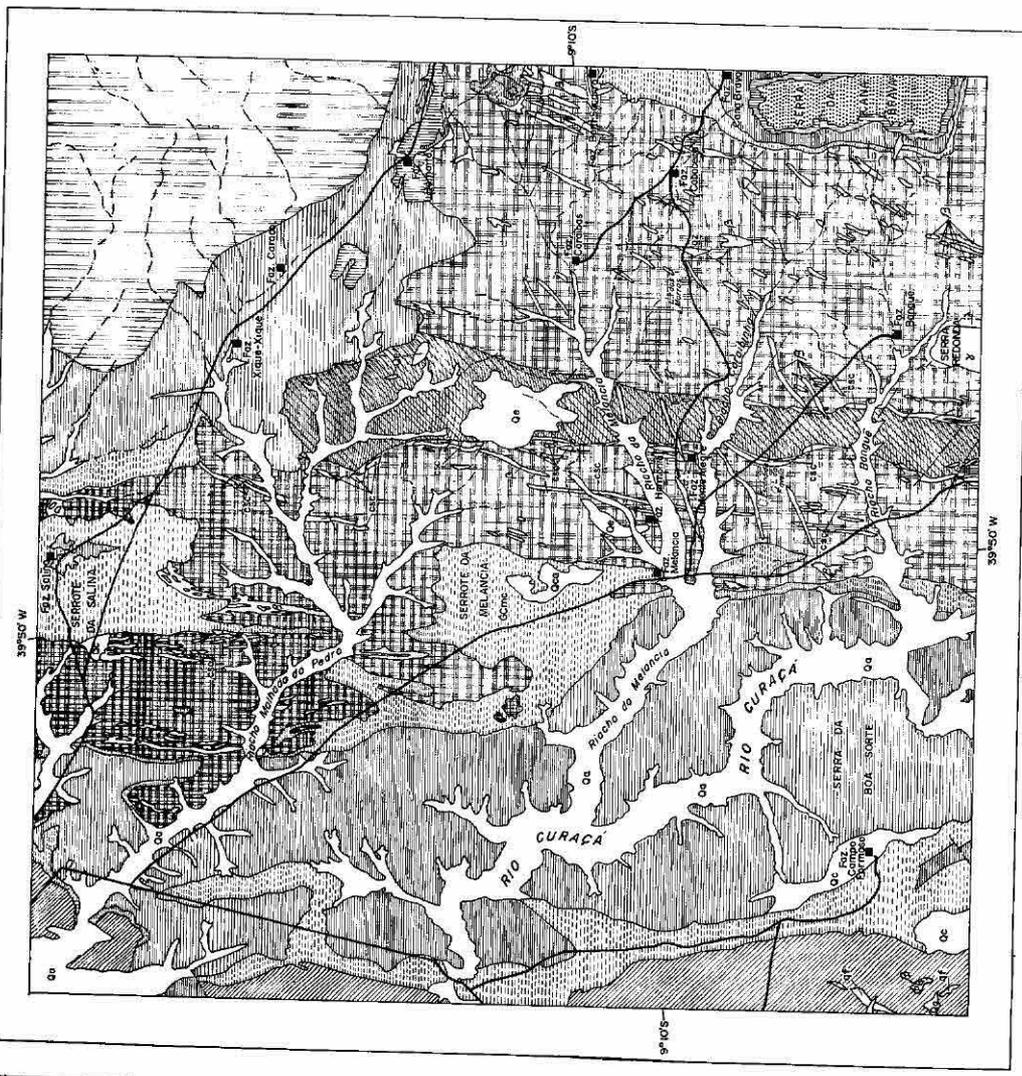
FILITOS A MICAXISTOS (EM PARTE GRANATÍFEROS) : A
GNAISSES (BAIXO GRAU)

GRUPO CARAÍBA

- SEQUÊNCIA TAMBÉM NOVO
- GNAISSES QUARTZO-FELDSPÁTICOS (UNIDADE BOGÓ).
- BIOTITA, HORNBLENDA GNAISSES PREDOMINANTES; GNAISSES FELSICOS; GRANULITOS (UNIDADE BANGUÉ).
- MIGMATITOS ESTROMATÓTIOS PREDOMINANTES, GNAISSES QUARTZO FELDSPÁTICOS (UNIDADE CACHOEIRA).

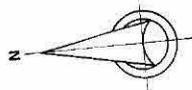
- SIENITO GNAISSICO
- AUGEN-GNAISSES; CATACLASITOS
- MAFÍCAS-ULTRAMÁFICAS.
- CALCOSSILICÁTICAS
- QUARTZITOS FERRUGINOSOS.
- DIQUE DE QUARTZO.
- ESTRADA, CAMINHO.
- LAGOA
- FAZENDA.
- DRENAGEM INTERMITENTE

(*) ESTRUTURAS OMITIDAS PARA VISUALIZAÇÃO.



FONTES DE INFORMAÇÃO UTILIZADAS :

- I MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO CURACÁ-UAIÁ 1:250.000 - MGA/SUDENE, 1972
- II PROJETO COBRE-CURACÁ - FOLHAS CURACÁ E BARRO VERMELHO 1:25.000 - CPRM, 1975.
- III MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DE CANA BRAVA, BA - 1:50.000 JORDAN, 1968.
- IV MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DE BARRO VERMELHO/PATAMITÉ - 1:100.000 MGA/SUDENE, 1972



1983

Figura 4.4

CAPÍTULO 5

ANÁLISE DAS IMAGENS REALÇADAS - (Época Seca)

5.1 - Considerações Gerais

Dois conjuntos de fitas magnéticas dos 4 canais do MSS do Landsat 3, foram escolhidos para os propósitos da pesquisa, um da estação seca e outro da chuvosa.

Na justificativa para a escolha da passagem de época seca (23/novembro/1978), foram relevantes: (1) a boa qualidade radiométrica das CCTs; (2) o elevado ângulo solar, um dos maiores entre imagens disponíveis para a época seca, com 54° de Elevação/Azimute de 112°, minimizando efeitos indesejáveis de sombreamento; (3) as características climáticas na época da passagem. Os dados fornecidos pela Estação Meteorológica da EMBRAPA/CPATSA, em Bebedouro/PE, situada a aproximadamente 100 Km a oeste de Curaçá, indicavam que, no período que antecedeu e durante o recobrimento do Landsat 3 na área teste, vigoravam condições de seca (Tabela 5.1).

A passagem de 21/fevereiro/1979 (48° de Elevação/Azimute de 96°) era a única que reunia condições de uso na época chuvosa, pela ausência de cobertura de nuvens na área-teste, um sério inconveniente, que limita uma maior utilização de análises temporais, em largas áreas do Nordeste brasileiro.

Pela análise da Tabela 5.1, pode-se considerar os dois conjuntos escolhidos, como representativos espectralmente da sazonalidade climática na área, embora fosse mais desejável dispor-se de passagens em março ou abril, quando a paisagem teria tido mais tempo para responder à precipitação sofrida.

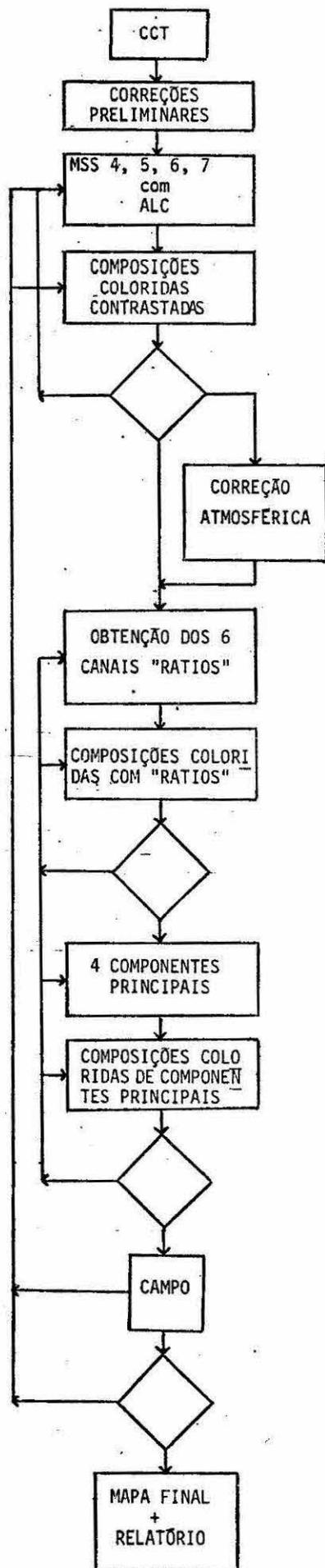
O plano de trabalho desenvolvido no Analisador IMAGE-100, correspondeu basicamente à sequência mostrada no Fluxograma Geral da Figura 5.1.

As fitas magnéticas sofreram inicialmente processamentos preliminares, através do algoritmo de correção radiométrica (liminares 7.0 e 28.0), nos canais 4 e 7 (época seca) e canais 4, 5, 6 e 7 (época chuvosa). Posteriormente, foram aplicadas correções de ruídos de varredura (parâmetros: limiar 8.0 e rampa 011), nos 4 canais dos dois conjuntos.

Os dados corrigidos sofreram 3 fases de tratamento digital, no laboratório:

MES	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	TOTAL (mm)	
JAN													22,2																			22,2	
FEV					6,3	0,3		5,3	1789	24,0	37,2	13,0	4,2	1,8												40,8	0,7	3	3			315,8	
MAR	04	28,4	4,2		14,8	32,0	0,7	4,3								0,1	2,4						3,8									91,3	
ABR			54,4			1,8					8,2												0,1			0,2	18,0		1,0	13,0	0,3		96,9
MAI		4,8	11,0	30,8	21,8	30,8									4,6	0,1							0,1						0,4			103,9	
JUN								3,3																2,6				1,4	1,1				8,4
JUL											0,1																0,7	0,6					1,4
AGO																																	0,0
SET																																	0,0
OUT																																	0,0
NOV																																	0,0
DEZ										2,8								0,3	3,6	0,7	4,8												42,2
JAN								0,5							57,1	17,9	0,5	15,0	7,4	0,7		1,5	0,1	17,1									12,2
FEV	19,2	2,3			0,4			2,8	1,6	0,5						160	20,4	11,0															94,2
																																	20,0

Tabela 5.1 - Precipitação em mm na Estação Meteorológica de Bebedouro/PE, do CPATSA/EMBRAPA, durante o período de jan./1978 a fev./1979. Em negro estão assinaladas as datas de passagem do Landsat 3.



fitas magnéticas

correção radiométrica
correção de varredura

. 60 .

Análise dos 4 canais originais realçados por Ampliação linear de contraste (ALC).

Análise de composições coloridas de canais realçados (MSS 4,5,e 7 com Azul, Verde e Vermelho).

Integração. Delineação dos padrões tonais. Interpretação.

Correção atmosférica (quando possível) dos 4 canais originais.

Obtenção e análise dos 6 ratios. Canais "ratios" realçados por ALC.

Análise de composições coloridas "ratios" (4/5, 5/6, 6/7 com Azul, Verde, Vermelho) realçadas por ALC.

Integração. Delineação de padrões tonais. Interpretação dos resultados. Comparação com dados anteriores.

Análise visual dos 4 componentes Principais realçados por ALC.

Análise de composições coloridas obtidas com os 3 melhores componentes realçadas por ALC (1CP, 2CP, 3CP com Azul, Verde, Vermelho).

Interpretação dos dados. Comparação e integração dos resultados. Definição de unidades espectralmente homogêneas. Programação de campo.

Verificação das áreas individualizadas. Coletas de amostras de rochas, solos e vegetação. Medidas espectrais.

Integração final de dados da época seca + chuvosa. Conclusões sobre as informações de interesse geológico contidas nas imagens.

Dentro de um programa de mapeamento geológico regional; os resultados da análise espectral/temporal seriam integrados com os dados obtidos de realces de atributos espaciais (filtagens, etc) e com informações disponíveis com outros sensores (Radar, Skylab, fotos aéreas, etc.

Figura 5.1: Fluxograma das etapas seguidas em uma abordagem espectral/temporal visando discriminações litológicas com técnicas de realce de imagens digitais MSS-LANDSAT.

- a) Realces por Ampliação Linear de Contraste de canais isolados e confecção posterior de composição colorida;
- b) Realces por Divisão de Canais;
- c) Realces por Componentes Principais.

A experiência de tratamento de Imagens Landsat no LTID e, conseqüentemente, da interpretação destes tipos de dados, tem mostrado que a seqüência apresentada no Fluxograma Geral da Figura 5.1, é a que normalmente fornece os melhores resultados, na medida em que vão sendo obtidos e analisados os resultados, segundo um aumento gradativo na complexidade dos algoritmos usados e na interpretação dos resultados, partindo-se dos canais originais, cujas respostas seguem modelos de mais simples interpretação.

A análise e interpretação das imagens restringiram-se ao campo espectral, embora fossem evidentes vários sistemas de lineamentos nas composições. Um programa de realce com filtragens digitais (Paradella e Dutra, 1980) está previsto para o futuro, a fim de que se possa avaliar a contribuição do atributo espacial de dados Landsat, na caracterização geológica da área.

5.2 - Realces por Ampliação Linear de Contraste

A Figura 5.2 mostra os histogramas* dos 4 canais MSS-Landsat da época seca, após correções preliminares.

Da análise destes dados, observa-se que a variância das cenas cresce, segundo os canais 6, 5, 7 e 4, respectivamente. Assumindo-se que esta variabilidade indica uma medida da quantidade de informação na cena, o canal 6 conteria mais informação, ao passo que o canal 4 conteria o mínimo.

Além disto, este último canal apresenta o menor contraste (razão entre o maior nível pelo menor nível de cinza) do conjunto, denotando uma cena com níveis tonais mais próximos, i. e., uma cena visualmente mais homogênea.

Baseados nos histogramas da Figura 5.2, foram selecionados por canal, os intervalos de níveis de cinza de interesse e aplicados Realces por Ampliação Linear de Contraste (A.L.C.). Os respectivos intervalos selecionados

*histogramas - frequências de distribuição de níveis de cinza da cena, representadas de forma normalizada, i. e., na ordenada tem-se valores percentuais de níveis de cinza (0 a 100 de variação) e na abcissa, valores dispostos entre o preto e o branco (256 níveis de variação).

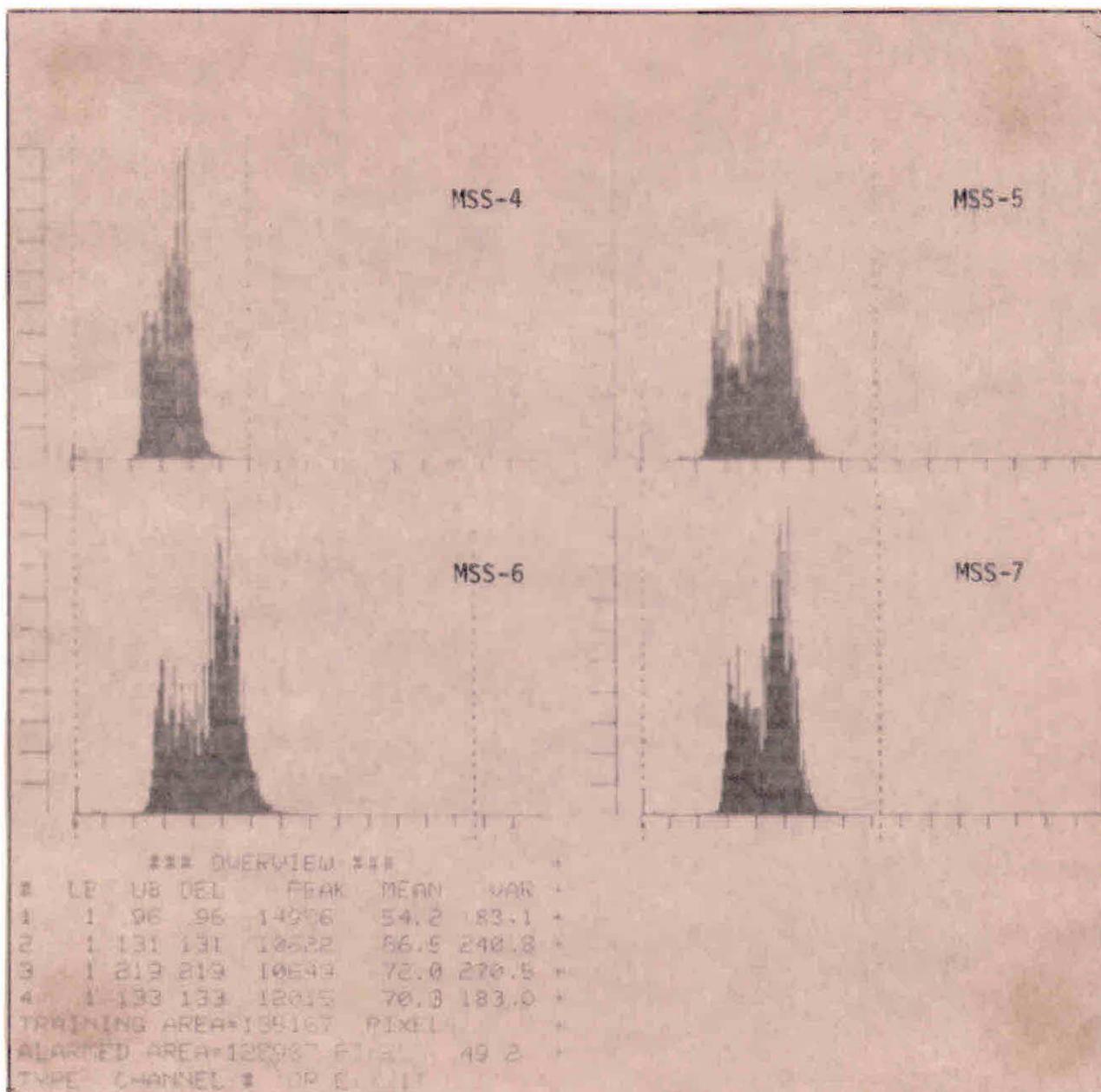


Figura 5.2

Histogramas normalizados dos 4 canais MSS-Landsat, da área-teste. (passagem 23/11/1978)

(canal 4: 32-80; canal 5: 32-112; canal 6: 32-112 e canal 7: 32-112), passaram a ocupar agora toda a escala de nível de cinza; ou 256 graduações. As Figuras 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7 mostram os novos histogramas obtidos pela ampliação de contraste e os canais realçados.

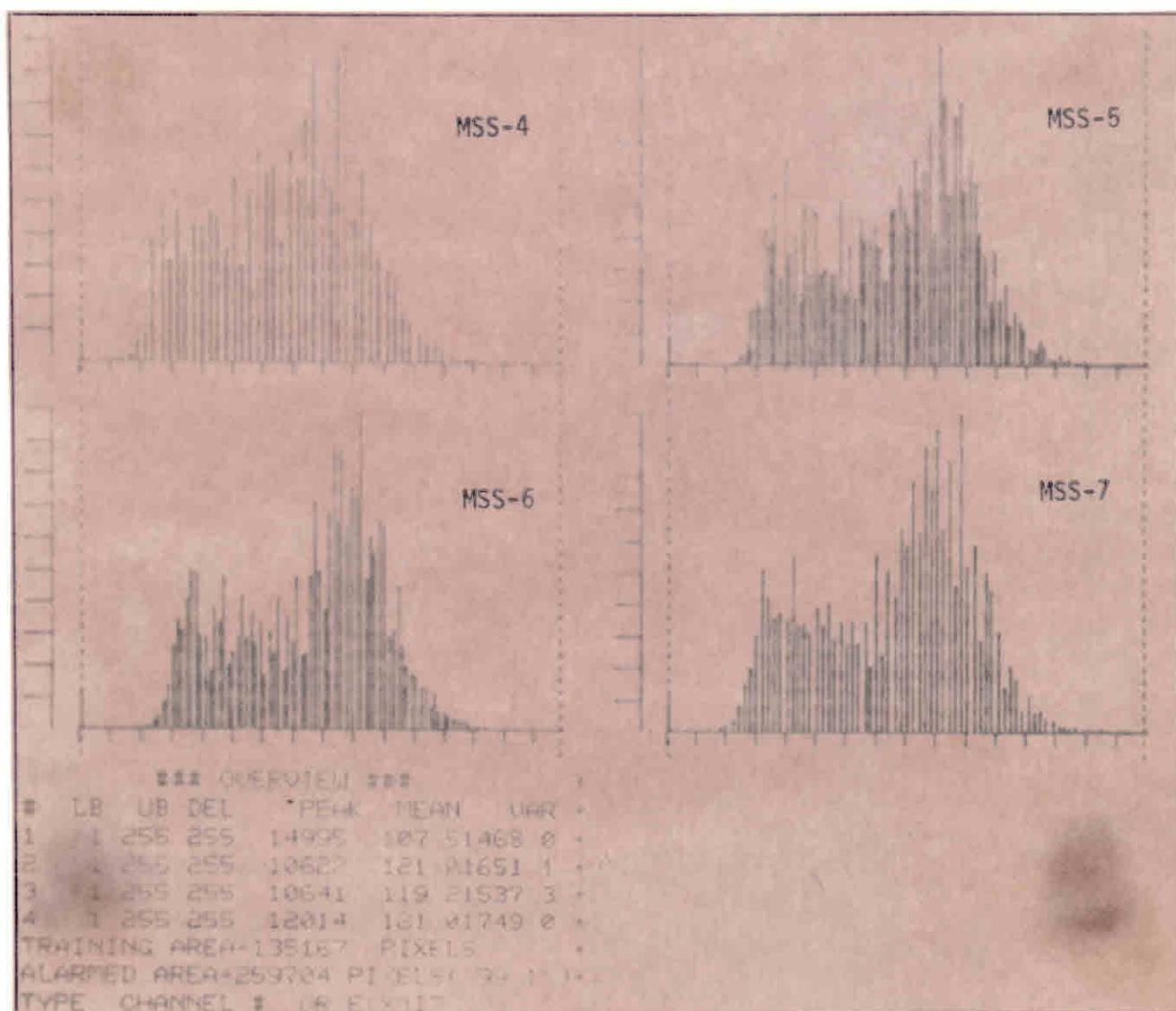


Figura 5.3

Novos histogramas, obtidos pela aplicação de Realces por Ampliação Linear de Contraste, nos 4 canais do Baixo Vale do Curaçã.

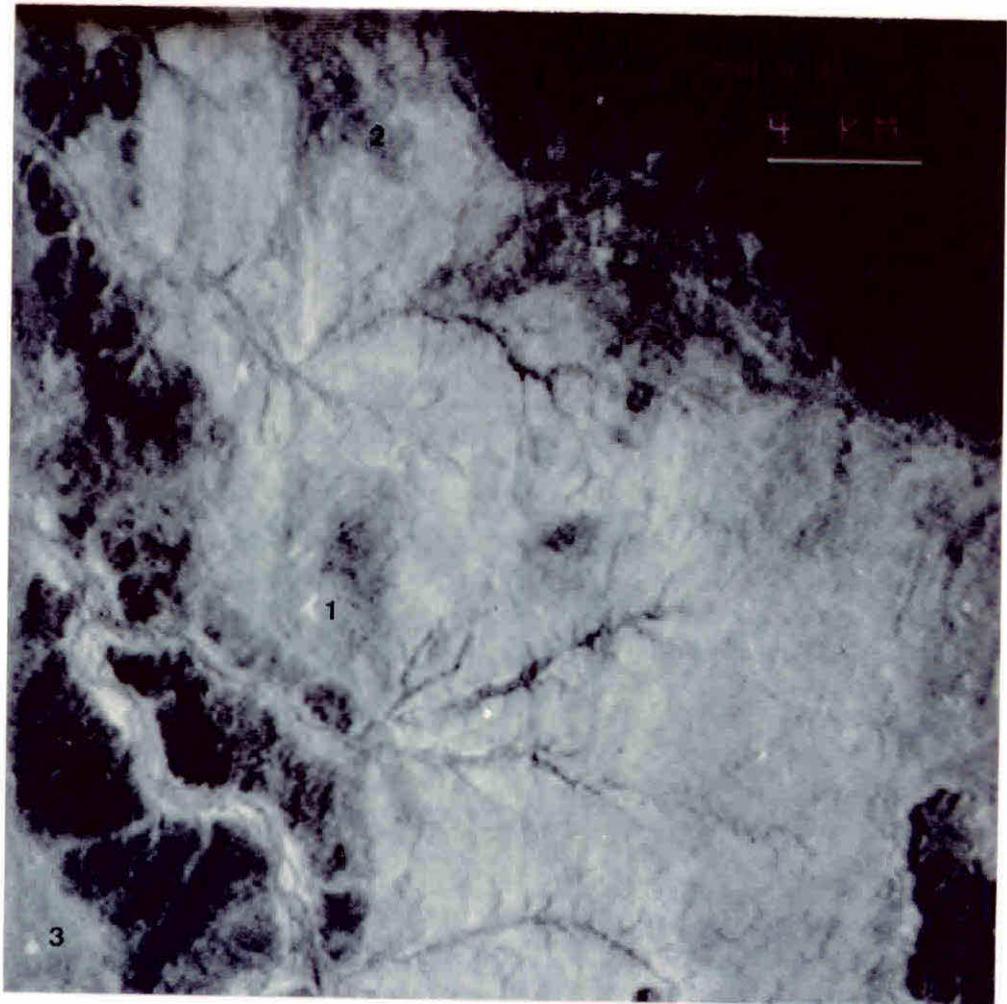


Figura 5.4

Canal 4 do Landsat, realçado por A.L.C.
Intervalo digital de ampliação = 32-80.
Pontos de referência discutidos no texto.

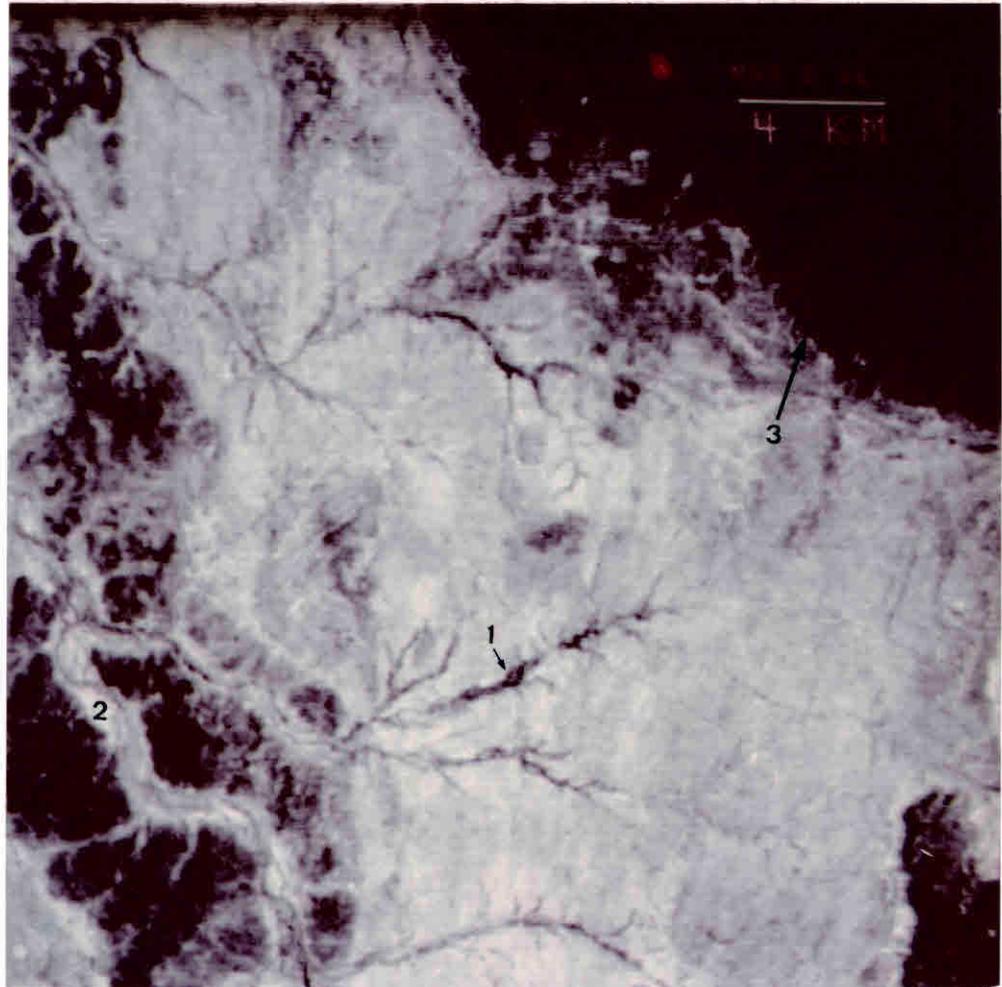


Figura 5.5

Canal 5 do Landsat, realçado por A.L.C.
Intervalo digital de ampliação = 32-112.
Pontos de referência discutidos no texto.

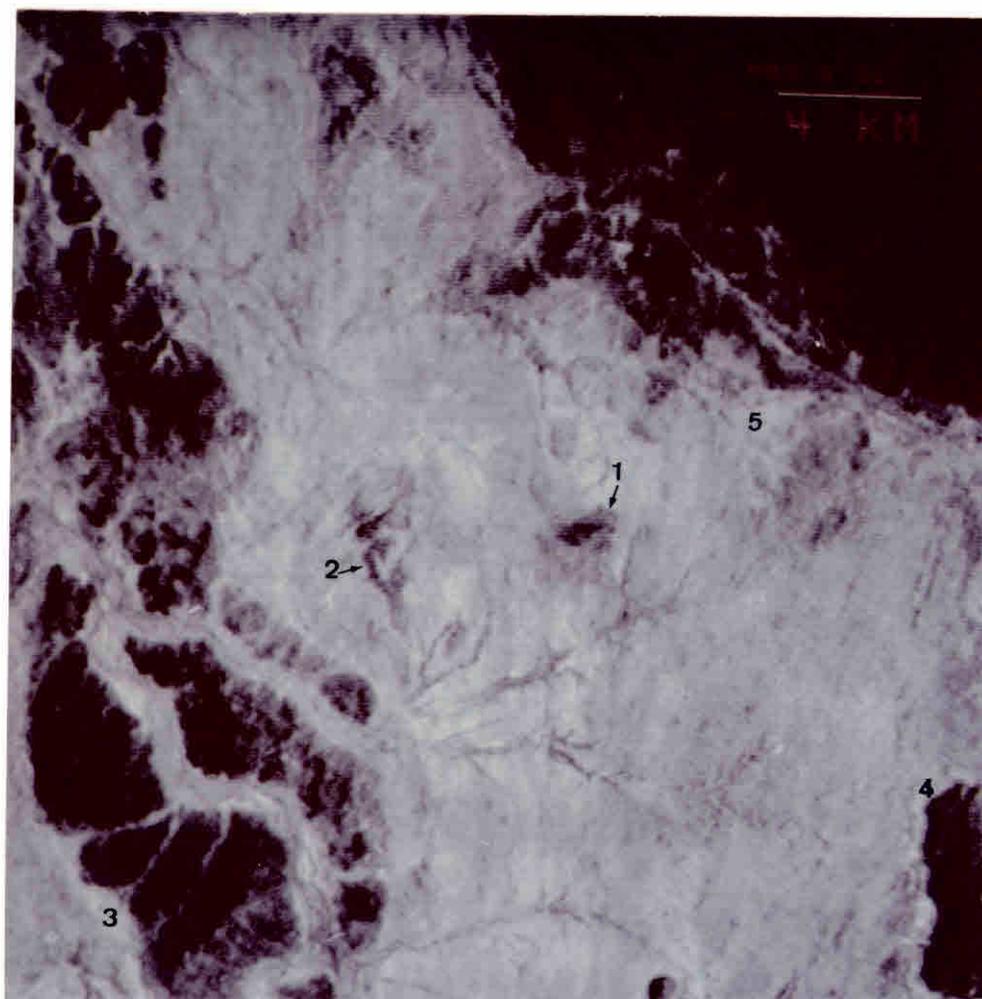


Figura 5.6

Canal 6 do Landsat, realçado por A.L.C.
Intervalo digital de ampliação = 32-112.
Pontos de referência discutidos no texto.

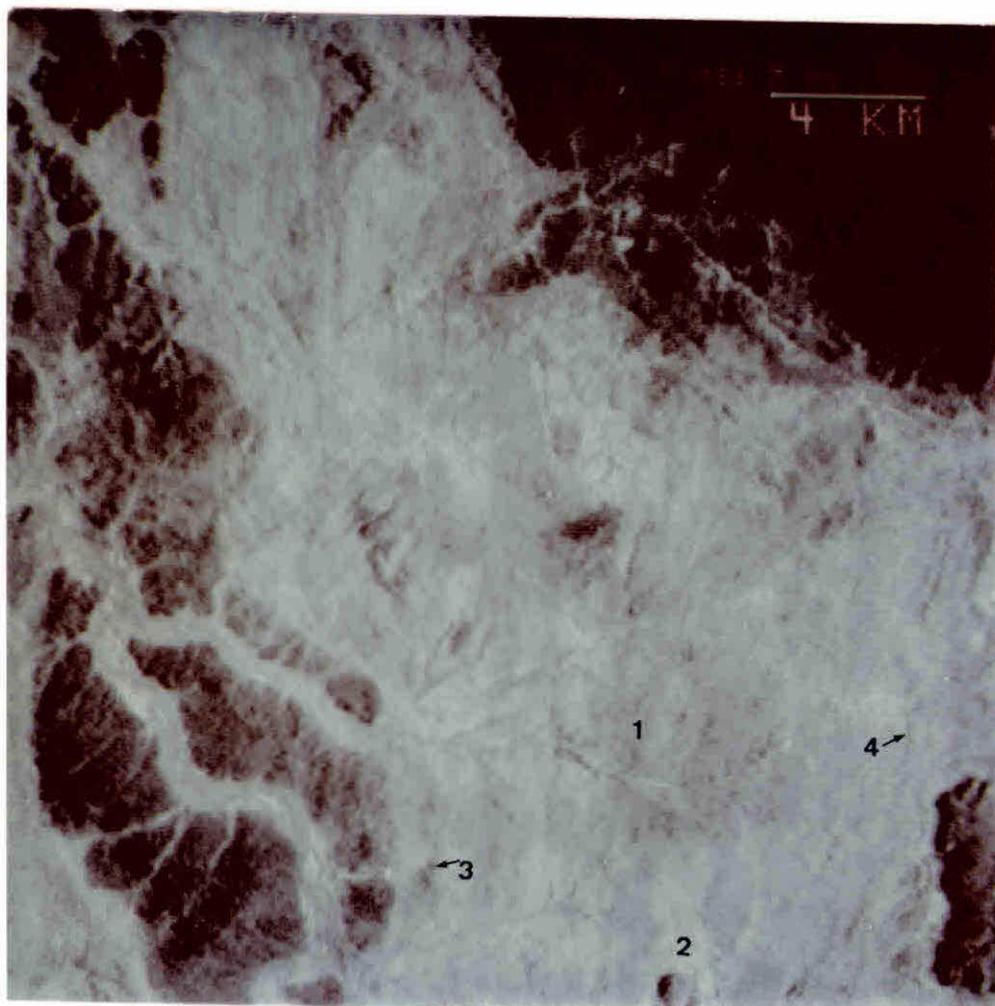


Figura 5.7

- Canal 7 do Landsat, realçado por A.L.C.
Intervalo digital de ampliação = 32-112.
Pontos de referência discutidos no texto.

As análises comparativas das Figuras 5.3 e 5.2, e 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7, mostram que o caráter bimodal dos histogramas, notadamente nos canais 5, 6 e 7, refere-se às regiões escuras e claras bem contrastadas nas cenas. Por outro lado, a comparação das Figuras 5.4, 5.5, 5.6 e 5.7, com o mapa da Figura 4.4, fornece informações valiosas sobre a discriminação de alvos na área.

A rede de drenagem caracterizada por vegetação exuberante "verde ou perenefolia", pode ser indicada pela comparação visual entre os canais 5 e 7. Por exemplo, o trecho médio do Riacho da Melancia (Ponto 1, na Figura 5.5) apresenta-se com níveis escuros no canal 5 e claro no canal 7 (Figura 5.7), explicado pelo comportamento espectral da vegetação com folhagem verde, como foi discutido no Capítulo 2, onde processos de absorção e de reflexão ocorrem nestas regiões espectrais, respectivamente.

Áreas de exposição de depósitos aluvionares, sem matéria orgânica, são representadas por alto albedo, com comportamento de reflectância similar às rochas fêlsicas, consequentemente exibindo níveis de cinza claros, nas 4 bandas (Área 2, Figura 5.5).

Os depósitos de elúvio grosseiro, com seixos arredondados de coloração marron escura, exibem níveis escuros nos 4 canais (Unidade QE, na Figura 4.4, e Ponto 1, na Figura 5.6). A região central deste depósito, exibe níveis bem escuros, que gradam a nuances mais claras nas bordas, denotando diferenças espectrais na superfície do depósito. Da mesma forma, i.e., com níveis escuros, a área indicada do calcário Caatinga, no Mapa da Figura 4.4, pode ser bem detectada nos canais 5, 6 e 7 (Ponto 2, Figura 5.6).

A separabilidade entre os dois alvos (elúvio/calcário Caatinga), utilizando-se das diferenças de brilho, é impraticável, sendo entretanto possível explorar para propósitos discriminativos, a ausência de detectabilidade do calcário, no canal 4 (Figura 5.4).

A área de ocorrência da Unidade Qc (cobertura calcífera), pode ser bem detectada nos canais 5, 6 e 7 (Ponto 3, Figura 5.6), embora fosse impossível discriminá-la na cena, quer por atributos espectrais, quer por relações espaciais, de outros alvos com brilho similar.

Para os metamorfitos dos Grupos Canudos e Macururê, o contato entre as Unidades GMxg (Grupo Macururê - xistos/gnaisses) e GCfx (Grupo Canudos - filitos/xistos), no canto superior direito da área-teste, pode ser razoavelmente traçado (Ponto 3, Figura 5.5), embora a continuidade norte, como proposta nos mapas prévios (Barbosa et alii, 1964; Jordan, 1968 e

Leube, 1972), seja inviável a partir destes dados. Nas imagens realçadas, estas duas áreas exibem comportamentos espectrais, sistematicamente constantes, com a Unidade GMxg estando sempre associada à baixa reflectância e a Unidade GCfx, associando-se a níveis de brilho pouco mais claros.

A melhor caracterização espectral e contraste entre estas duas unidades, ocorre no canal 7 (Figura 5.7), onde níveis de cinza mais escuros, homogêneos, associam-se a GMxg e níveis mais claros, mais heterogêneos, correspondem a GCfx.

Partindo-se da constatação de Delgado e Souza (1975), de que as áreas do Grupo Canudos são caracterizadas por extensos pavimentos cobertos de seixos com óxido de ferro, as variações presentes estariam ligadas às variações nesta cobertura de solos ou a diferenças de densidade de vegetação seca, ou a ambas. Convém salientar que os níveis de cinza destas unidades, confundem-se com a cobertura do "plateau" da Serra da Cana Brava, constituída de calcários, o que sugere uma grande influência da vegetação caducifolia nestas áreas.

Outro aspecto observado, refere-se à presença de regiões anormalmente claras, dentro da Unidade GCfx, indicando condições superficiais distintas, em relação ao padrão geral da Unidade (áreas de filitos, no envoltório da Serra da Cana Brava e uma região em forma grosseiramente triangular, a SW da Fazenda Humaitá, Pontos 4 e 5, na Figura 5.6, respectivamente). As tonalidades destes sítios, indicam áreas de exposição da associação "solo + rocha".

Com relação aos calcários/mármoreos do Grupo Canudos, Unidade GCmc do Mapa da Figura 4.4, as regiões de ocorrência nos Serrotes da Melancia e Salinas, são detectadas principalmente nos canais 4 e 5 (Pontos 1 e 2, na Figura 5.4). A variação de resposta espectral nestas duas regiões, caracterizada por níveis mais escuros, nas bandas do visível e mais claros nos canais do infravermelho, sugere influências de cobertura vegetal com folhagem verde, à época do imageamento nestes locais. Já para a área de ocorrência desta unidade, a leste da Fazenda Campo Formoso, no extremo SW do Mapa, a ausência de detecção, impede a delimitação da unidade, principalmente o seu contato com a Unidade TN Bogô (Ponto 3, na Figura 5.4).

A análise do padrão de respostas detectadas para as áreas de ocorrência das Unidades RC Cachoeira, TN Banguê, TN Bogô, indica pouca ou nenhuma influência de cobertura vegetal nas respostas. Por exemplo, o Ponto 1 (TN Banguê), na Figura 5.7, exhibe níveis mais escuros que o mesmo ponto,

nos canais 4 e 5, com um comportamento condizente com as respostas de unidades de afinidade mais máficas, i. e., bem mais escuras, que a faixa central meridiana, associada à Unidade RC Cachoeira (mais félsica). As diferenças tonais presentes nestas unidades, devem refletir diferenças de comportamentos espectrais de associação "solo + rocha", já que estes comportamentos seriam atípicos para respostas de vegetação com folhagem verde (padrão oposto visível/infravermelho) ou sem folhas (grande absorção nas 4 bandas).

Entretanto, a análise comparativa dos produtos realçados, não permite precisar os limites destas unidades com muita clareza. De modo geral, pode-se tentar associar a faixa norte-sul central nas fotos, às ocorrências da Unidade migmatítica RC Cachoeira, com contatos gradativos, em parte definidos com a Unidade gnáissica TN Banguê.

As áreas da Unidade quartzo-feldspáticas TN Bogó, como já foi discutido, confundem-se com os calcários/mármore de GCmc.

Uma zona de elevada reflectividade, não bem correlacionada com a cartografia geológica disponível, ocorre, envolvendo a continuidade Norte-Sul da Serra Redonda (Ponto 2, Figura 5.7), registrando uma área de grande albedo e de comportamento bem félsico.

Áreas de ocorrências de mafitos-ultramafitos, de dimensões compatíveis com a resolução espacial grosseira do MSS-Landsat, podem ser detectadas, pelos níveis escuros associados à presença de absorções do ferro, consequentemente, com baixa reflectância, nas 4 bandas (principalmente nos canais do infravermelho) e pela geometria característica destes corpos (Ponto 3 e 4, Figura 5.7).

Embora a análise dos canais realçados forneça uma boa expectativa para a abordagem de discriminação litológica na área, a redundância de informações nas cenas, a característica sutil das discrepâncias e a influência da cobertura vegetal, impõem a necessidade da utilização de outros processamentos, que enfatizem as variações espectrais num nível mais satisfatório.

5.3 - Composição colorida contrastada por A. L. C.

A Figura 5.8 foi obtida, associando-se as cores azul, verde e vermelha, aos canais MSS-4, MSS-5, MSS-7, da época seca, previamente contrastados por A.L.C. Esta composição tem sido rotineiramente a que melhores resultados têm fornecido em trabalhos de discriminações espectrais de alvos

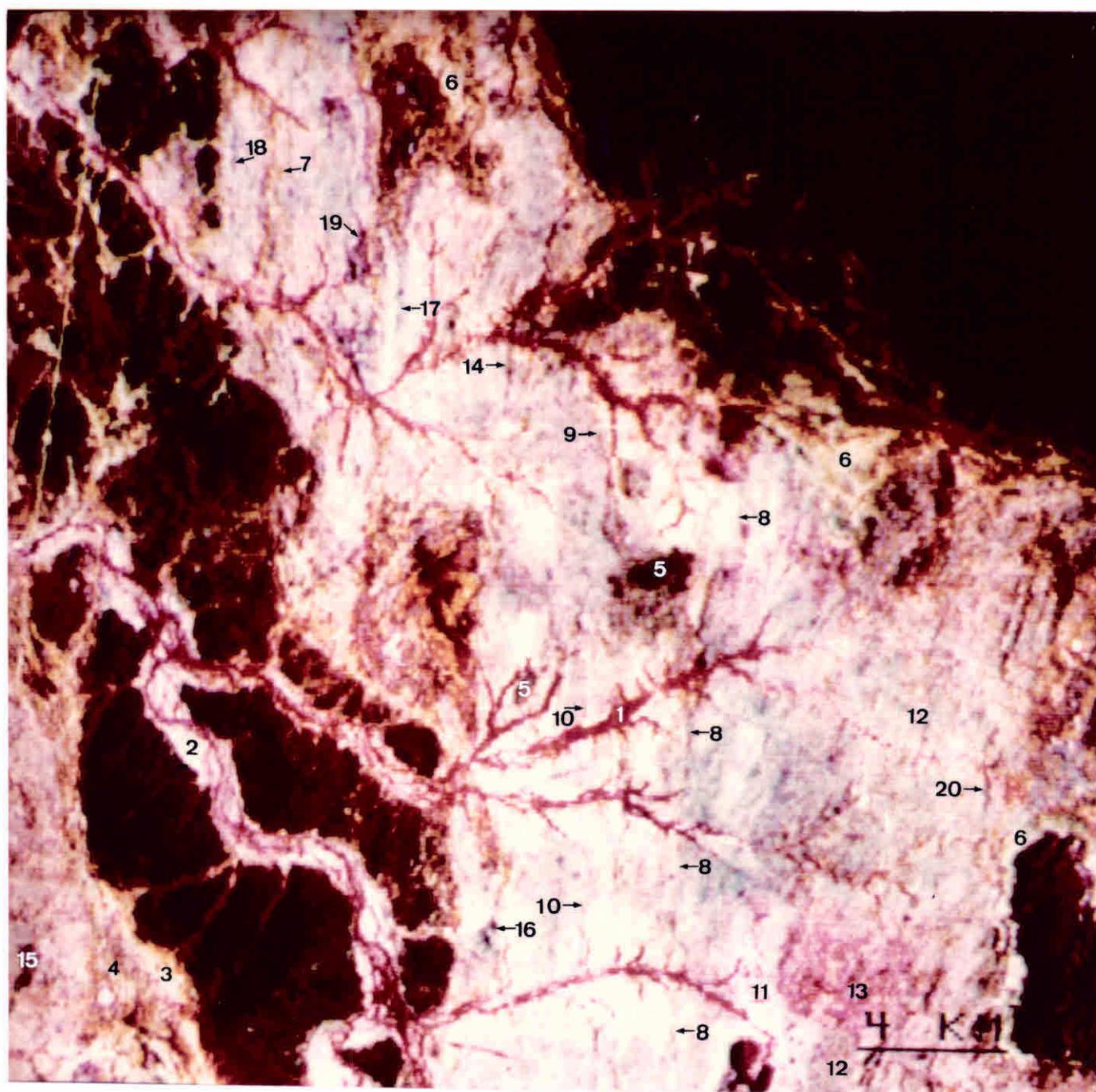


Figura 5.8

Composição Falsa-Cor (época seca) do Baixo Vale do Rio Curaçã, BA. Canais 4, 5 e 7, realçados por A.L.C., associados às cores azul, verde e vermelha, respectivamente. Pontos de referência discutidos no texto.

naturais no LTID e na literatura (Grootenboer, 1973), sendo comumente referida como composição falsa-cor.

Como as cores combinadas na foto, seguem um modelo de mistura ou síntese aditiva, as relações seguintes são válidas para a Figura 5.8:

vermelho	+	verde	=	amarelo		
vermelho	+	azul	=	magenta		
azul	+	verde	=	cian		
azul	+	vermelho	+	verde	=	branco
ausência de cores			=	preto		

Utilizando-se destas relações, associadas ao conhecimento do comportamento espectral de alvos naturais, nas 3 bandas em questão, várias inferências são possíveis.

Assim, as regiões de vegetação com folhagem verde densa, são identificadas pela cor vermelha intensa, em virtude da alta reflectividade da vegetação no canal 7 (alta contribuição do vermelho na síntese aditiva de cores, em detrimento das contribuições das bandas 4 e 5, que normalmente respondem pela baixa reflectividade da biomassa, nestas faixas espectrais, Ponto 1, Figura 5.8).

Deste fato, outras relações decorrem: a influência da vegetação com folhagem verde, é quase inexistente na época seca, denotando a caducidade foliar da vegetação, exceto para as áreas de drenagens proeminentes e regiões situadas nos Serrotes da Salina e Melancia ("pró-parte") e ao norte da Serra da Cana Brava. Também, as zonas de depósitos aluvionares (Unidade Qa, na Figura 4.4), caracterizadas pelas altas reflectividades nas 3 bandas, tons brancos (Ponto 2), que à primeira vista, poderiam confundir-se com várias áreas de tons similares, podem ser diferenciadas e mapeadas, associando-se estes tons com os de vegetação densa da mata ciliar, i. e., são padrões interligados nas calhas dos riachos intermitentes.

A região de cobertura calcífera, Unidade Qc no Mapa Geológico, pode ser detectada e discriminada pelo seu tom branco-amarelado, embora seja apenas possível estimar um contato aproximado com os calcários / mármore G0mc, a oeste (Ponto 3 e 4, respectivamente).

O mapeamento da Unidade Qe - depósitos de elúvios grosseiros, é agora facilitado, permitindo-se delimitar com clareza todas as extensões da Unidade. Nas regiões centrais destes depósitos, onde a concentração de seixos escuros deve ser maior, ocorre maior absorção da energia refletida nas

3 bandas, mostradas pelos níveis mais negros (Ponto 5).

A região de ocorrência do Calcário Caatinga do Mapa Geológico, pode ser detectada no Serrote da Melancia e um padrão negro similar também pode ser visto no Serrote da Salina, a norte.

O contato entre as Unidades GMxg e GCfx, no extremo NE da área, bem marcado nos produtos anteriores, não é visto nesta composição, sendo entretanto bastante claras as regiões de ocorrência de filitos, na base da Serra da Cana Brava e padrões tonais análogos (branco-amarelo-esverdeado) a SW de Humaitã e ao norte, no Serrote da Salina (Pontos 6, na Figura 5.8).

A não visualização do contato entre as Unidades GMxg/GCfx, no NE da área, está ligada a não aplicação de contraste adequado à característica de alto contraste de albedo da cena, presente entre as regiões de ocorrência do Grupo Caraíba (bastante clara) e as áreas dos metamorfitos Canudos (bastante escura). Na aplicação de contrastes lineares, para se realçar a parte clara (como é o caso da Figura 5.8), satura-se a parte escura e vice-versa.

A aplicação de uma ampliação de contraste logaritmica não disponível atualmente no LTID, resolveria este inconveniente pois, diferentemente, aumentaria o contraste nas partes escuras e claras da cena, permitindo uma melhor visualização das unidades presentes.

As Unidades GMxg, GCfx ("pró-parte"), Sienito da Serra Redonda e GCmc (topo da Serra da Cana Brava), se confundem neste produto. Como são materiais superficialmente distintos, tudo induz a que as respostas originais estejam sendo mascaradas, em parte, pela cobertura vegetal, sem folhagem, acarretando uma forte absorção, nas 3 bandas espectrais.

A faixa da Unidade GCmc, a oeste da Fazenda Campo Formoso, é bem detectável e discriminável nesta foto, com padrão tonal amarelado-avermelhado, bem distinto dos mica-xistos/filitos a leste (níveis negros) e dos gnaisses quartzo-feldspáticos a oeste (tons claros a brancos). As tonalidades avermelhadas desta Unidade GCmc, podem relacionar-se à presença de vegetação com folhagem verde densa, esparsamente distribuída nesta faixa e mais abundante nos Serrotes da Salina e Melancia. Já os tons amarelados/ocre, são condizentes com a resposta de solos/rochas de calcário / mármore, com forte absorção de canal 4 (queda abrupta de reflectividade) e maior resposta nos canais 5 e 7, i. e., contribuição maior do verde e vermelho na mistura aditiva da composição colorida.

Utilizando-se deste padrão como guia, é possível traçar a exten-

são espacial da Unidade GCmc em quase toda a área-teste, com uma disposição que se ajusta perfeitamente com os dados prévios do mapa geológico. Inclusive, no extremo norte da área, a oeste do Serrote da Salina, o padrão tonal presente indica que a extensão da faixa GCmc, deve ser bem maior do que a cartografada como mancha isolada por Delgado e Souza (1975), (Ponto 7, Figura 5.8).

Em relação aos metamorfitos de alto grau do Grupo Caraíba, várias constatações são possíveis.

O contato oriental por falhamento, disposto segundo N-S, entre a Unidade migmatítica (RCCa) e a gnáissica, com intercalações anfibolíticas (TN Banguê), pode ser traçado, delimitando a transição na foto, entre uma zona sistematicamente mais clara a oeste (alta reflectividade nas 3 bandas, padrão de resposta condizente com material mais fêlsico), com uma faixa de tons azulados, com nuances brancas a leste (maior contribuição do canal 4 e reflectância decrescendo nos canais 5 e 7, padrão ligado a material mais máfico que o anterior). O Ponto 8, da Figura 5.8, mostra a linha de contato discutida, que se ajusta em toda a sua extensão com o mapeado, como falhamento, por Delgado e Souza (1975), separando as duas unidades.

Para a borda ocidental, entretanto, as relações parecem ser outras. Ao norte (Ponto 9, na Figura 5.8), o traçado do contato RC Cachoeira/TN Banguê é coincidente com o apresentado no mapa geológico (Figura 4.4), porém sua continuidade sul, obliterada pela cobertura eluvial grosseira, em parte, parece prolongar-se mais a oeste do que o proposto no mapa, tangenciando as lagoas da Favela e Escondida (Pontos 10, na Figura 5.8). Após o riacho Banguê, o limite entre as duas unidades fica difícil de ser traçado, pela alta reflectividade das duas unidades na área, impedindo um melhor contraste.

De qualquer modo, as variações tonais, a maioria das quais parece diretamente relacionar-se com litologias ou condições superficiais ligadas fortemente ao substrato litológico, definem padrões-guias, extremamente valiosos na interpretação espectral da Figura 5.8.

Tais padrões-guias, quando utilizados como hipóteses de trabalho, são importantes na otimização do planejamento e verificação de campo, com reflexos interessantes no custo do levantamento geológico.

Em relação à Unidade TN Banguê, algumas outras observações são pertinentes. Em alguns locais (área 11, na Figura 5.8), são observados "enclaves" esbranquiçados, que refletem regiões discrepantes espectralmente,

com provável afinidade mais fêlsica. Para oeste, no prolongamento da Unidade, a tonalidade azul-esbranquiçada grada para tons esverdeados, indicando uma passagem de comportamento espectral e sugerindo mudanças superficiais que podem ter conotações com variações composicionais no substrato (Áreas 12, na Figura 5.8).

Da análise deste produto, fica difícil precisar a localização desta mudança de comportamento pela variação gradativa dos tons. Também uma grande zona "anômala" em magenta, ocorre a NE da Serra Redonda (Área 13), não definida com tanta clareza nos realces anteriores, que à primeira vista sugere uma influência de cobertura vegetal, com folhagem verde, na região.

Para a Unidade TN Bogó, o padrão tonal indica coloração esbranquiçada, condizente com sua afinidade mais ácida. O padrão tonal desta unidade é pouco mais esmaecido, que os das Unidades Qa e RC Cachoeira, permitindo sô com bastante atenção, a percepção das diferenças.

Corpos de rochas cálcico-silicáticas e de quartzitos ferruginosos (Pontos 14 e 15, respectivamente) são mapeados na Figura 5.8, sendo o quartzito ferruginoso com uma tonalidade marron escura a negra (muito próxima à Qe) e a cálcico-silicática com tons amarronzados, que se confundem em parte com calcários Gcmc. As suas relações de geometria espacial com boa linearidade, permitem ao fotointérprete em algumas situações, separá-los, embora de um modo geral, isto não seja possível. Como tais corpos, normalmente, associam-se a topografias positivas (Delgado e Souza, 1975), a baixa resolução espacial e a ausência de estereoscopia no MSS- Landsat, são inconvenientes à discriminação destes corpos, atualmente.

Em relação aos mafitos-ultramafitos, algumas considerações são necessárias. Embora a proposição da pesquisa não inclua a tentativa de discriminá-los, face às reduzidas dimensões da maioria dos corpos para a resolução do MSS-Landsat, a análise de padrões tonais de alguns corpos detectados na Figura 5.8, permite relacionar 4 grupos de tons associados a estes corpos: corpos pretos com gradações azuladas (Ponto 16); corpos azulados (Pontos 17); corpos magenta (Pontos 18 e 19) e corpos marron - avermelhados (Pontos 20).

A correlação destes tons com os dados prévios disponíveis, não é clara, principalmente pela ausência de dados mais seguros sobre as características composicionais destes corpos e pela própria controvérsia existente entre as descrições de campo e as conclusões do mapa de Delgado e Souza (1975), em relação a estes aspectos.

Por exemplo, os Pontos 16 e 17 são coincidentes nas descrições de campo (Fichas LF-174; LF- 673; LF- 684; LF-685) e na cartografia final do Projeto Cobre do Curaçã, correspondendo respectivamente a anfibolitos e serpentinitos/anfibolitos.

Já para os Pontos 18 e 19 (ambos com coloração magenta escura), os dados de campo indicam (Ficha LF-692 a e b e Fichas LF-681, LF - 684 e LF-685, respectivamente) metabasitos com gabros metamorfisados e metabasitos (metanoritos?), sendo entretanto cartografados no Mapa Final como piroxenitos/noritos e serpentinitos/piroxenitos serpentinizados (?), predominantemente.

Em relação aos proeminentes corpos metaígneos a leste da região (Ponto 20), inexistem dados de detalhe prévios, sendo considerados com ultrabasitos pela MGA/SUDENE.

À luz desta discussão, torna-se prematuro aventar guias de classificação destes corpos a partir dos dados disponíveis, principalmente levando-se em conta a complexidade estrutural e diversidade litológica envolvidas, como bem discutido por Lindenmayer (1981) e Mandetta (1983).

Dois aspectos, porém, são inevitáveis desta análise inicial. Primeiro, é a grande perspectiva que se abre ao uso de técnicas de classificação automática, com fitas magnéticas do TM Landsat 4 (resolução espacial de 30 metros e 7 novas bandas espectrais), num zoneamento dos 200 ou mais corpos de mafitos-ultramafitos do Curaçã, a partir de características espectrais vinculadas à predominância de tipos litológicos.

Segundo, a tonalidade azulada da TN Banguê, na Figura 5.8, muito próxima das alterações dos corpos mafitos-ultramafitos 16 e 17, reforça a premissa aventada, de que o seu caráter mais máfico é o que permite espectralmente diagnosticá-la das Sequências RC Cachoeira e TN Bogô.

5.4 - Divisões de Canais

Das discussões anteriores, ficou claro que apesar das diferenças de reflectância espectral, entre as unidades da área do Baixo Vale do Curaçã, terem fornecido resultados parcialmente satisfatórios na discriminação litológica, outros tipos de processamentos eram necessários para extrair a informação em um nível considerado mais adequado ao esclarecimento de várias relações pendentes nos trabalhos anteriores.

Dentro deste enfoque, divisões de canais, como meio adicional de

realces espectrais, foram utilizadas segundo duas premissas básicas:

- 1) comprovar os resultados analíticos já obtidos;
- 2) fornecer dados adicionais, pouco ou não enfatizados previamente.

Divisões de Canais normalmente devem ser precedidas por correções atmosféricas, a fim de que o valor do "pixel" na divisão, passe a ser linearmente dependente das reflectâncias envolvidas e independa de efeitos topográficos (Equação II, Capítulo 3). Se os efeitos do espalhamento atmosférico não são atenuados, contrastes nas bandas, principalmente 4 e 5, são reduzidos substancialmente, na medida em que a quantidade da radiação proveniente do espalhamento atmosférico, é função do comprimento de onda (considerando somente os efeitos aditivos, o espalhamento Rayleigh é inversamente proporcional ao comprimento de onda ou a λ^4).

O mais óbvio método para minimizar esta influência, implica em listar os valores digitais mais baixos dos "pixels" de cada banda e subtraí-los dos valores dos "pixels" restantes na imagem, por canal. De modo prático, os valores de radiância mais baixos, estão associados a sombras de relevo, de nuvens ou corpos límpidos de água (lago, rio, etc.). Desta forma, assume-se que os valores digitais destes alvos, são provenientes da contribuição aditiva da atmosfera e necessariamente devam ser subtraídos dos valores digitais dos "pixels" restantes. Normalmente, o valor do "pixel" na área sombreada ou corpos de água, na banda 4, é o mais elevado, decrescendo tais valores para os respectivos "pixels" nas bandas 5, 6 e 7, nesta sequência.

A utilização desta metodologia a partir de pontos de sombreamentos do relevo, mostrou-se ineficiente na passagem escolhida. Face ao elevado ângulo solar e a topografia pouco acidentada, as áreas de sombreamento presentes, sistematicamente exibiram níveis digitais mais elevados do que alguns alvos geológicos de interesse (mafitos, por exemplo).

Na ausência de sombreamentos extensos ligados a nuvens, analisou-se a alternativa do uso de corpos de água em duas áreas: Barragem de Sobradinho e Açude Pinhões. Apesar de ser época seca, os padrões tonais nos centros destas áreas, mostraram influências de sedimentos em suspensão nos canais 4 e 5, o que inviabilizou, de vez, a tentativa de corrigir-se atmosféricamente as imagens para as divisões de bandas.

A despeito de vários autores preferirem utilizar dados "ratio" sem correções atmosféricas (Goetz et alii, 1975; Rowan et alii, 1974; Blod-

get et alii, 1978), a possibilidade dos realces aqui obtidos, serem prejudicados pela ausência destas correções, deve ser considerada no desempenho da técnica.

As Figuras 5.9 a 5.14 correspondem às divisões espectrais obtidas dos 4 canais originais MSS-Landsat, época seca, sem considerar permutações invertidas.

Em síntese, o processamento consistiu de:

- (1) obtenção dos valores "ratio" da divisão de 2 bandas MSS, "pixel" a "pixel", utilizando-se do algoritmo "RATIO2" do LTID;
- (2) os resultados obtidos foram ampliados linearmente, pelo fato dos dados "ratio" geralmente mostrarem um pequeno intervalo de valores digitais.

A Tabela 5.2 fornece os parâmetros das transformações:

MSS "ratio"	Limites de Contraste	Ganho	OFFSET
4/5	64 - 176	200	- 50
4/6	64 - 160	200	- 50
4/7	64 - 160	200	- 50
5/6	80 - 192	200	- 50
5/7	80 - 192	200	- 50
6/7	96 - 208	200	- 50

Tabela 5.2

Parâmetros utilizados para os dados "ratio" da área estudada.

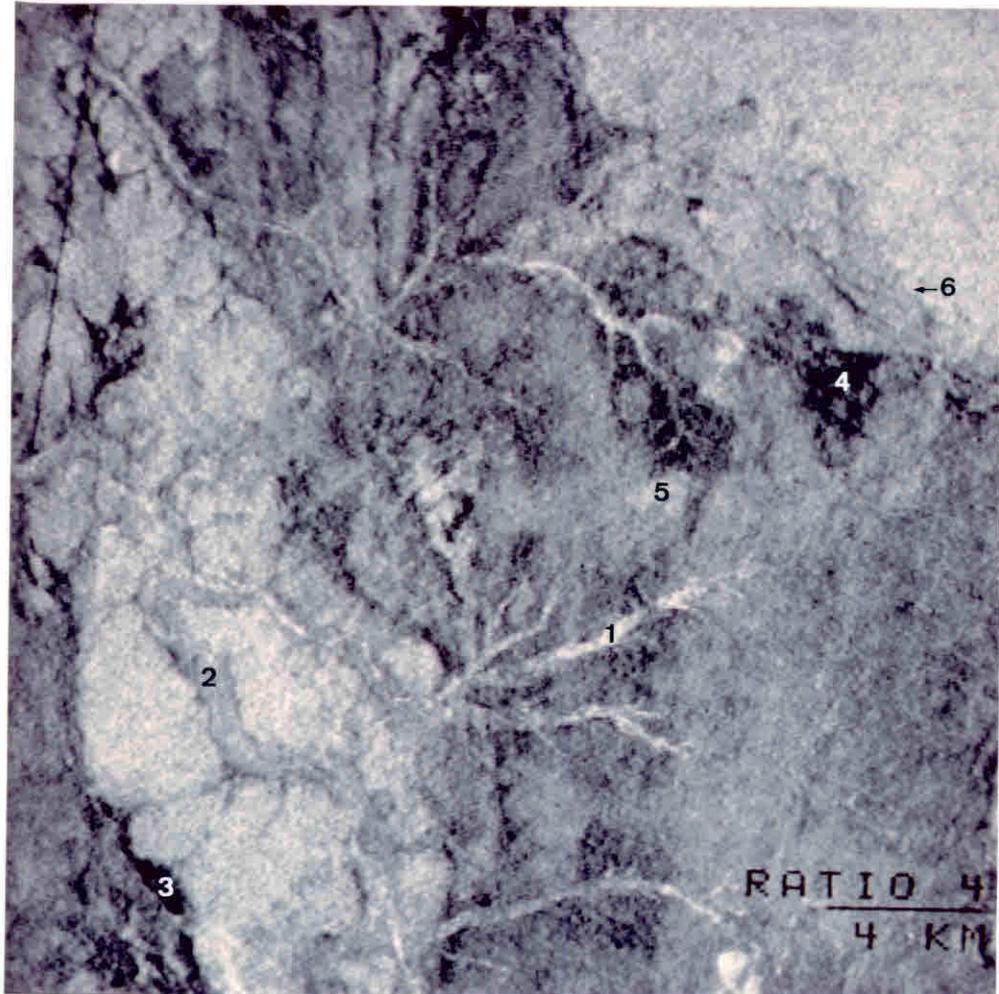


Figura 5.9

Canal MSS 4/5 - época seca, realçado por A.L.C.
Pontos de referência discutidos no texto.

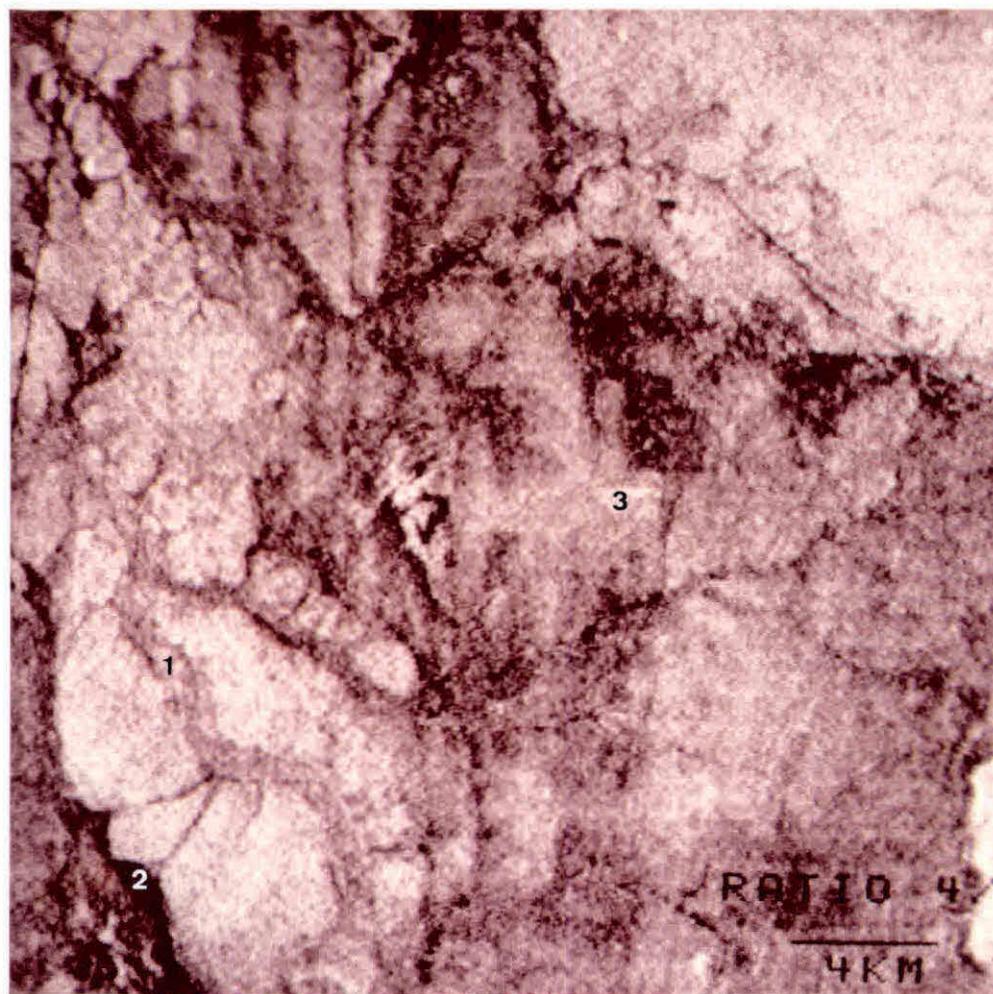


Figura 5.10

Canal MSS 4/6 - época seca, realçado por A.L.C.
Pontos de referência discutidos no texto.

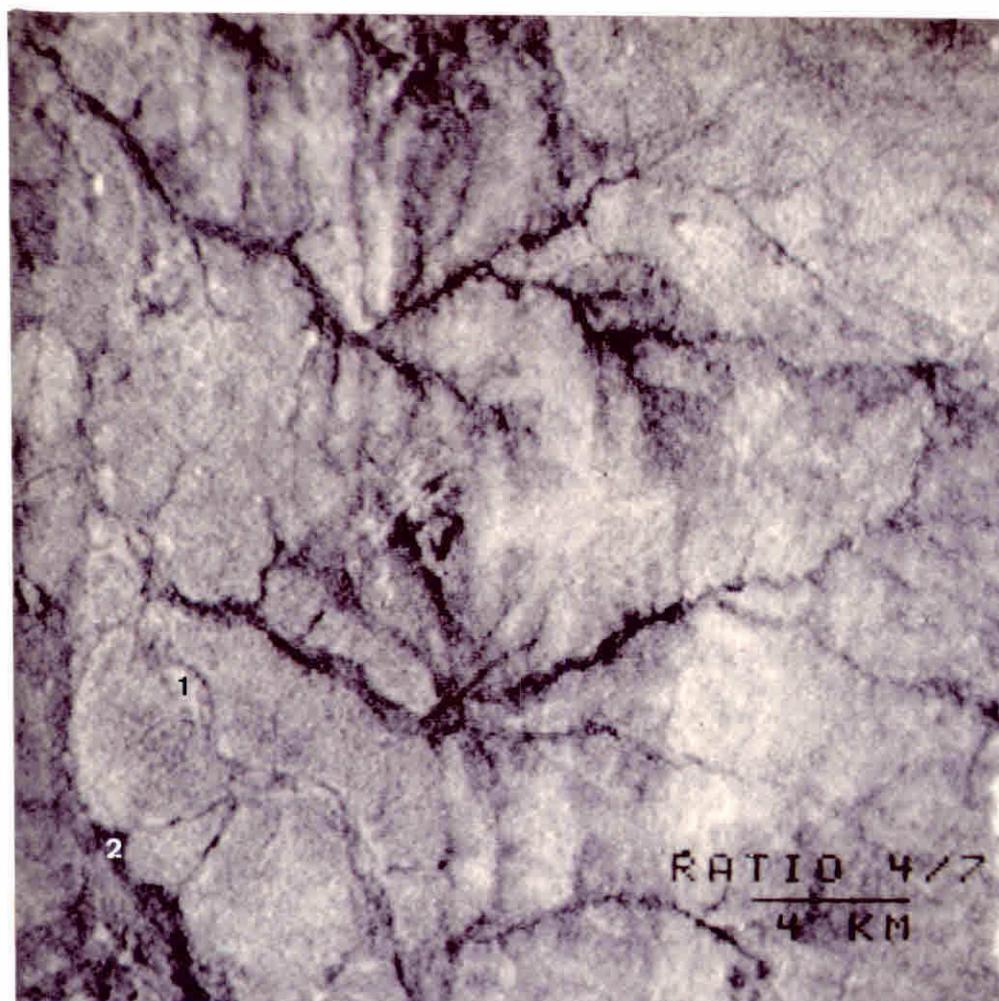


Figura 5.11

Canal MSS 4/7 - época seca, realçado por A.L.C.
Pontos de referência discutidos no texto.

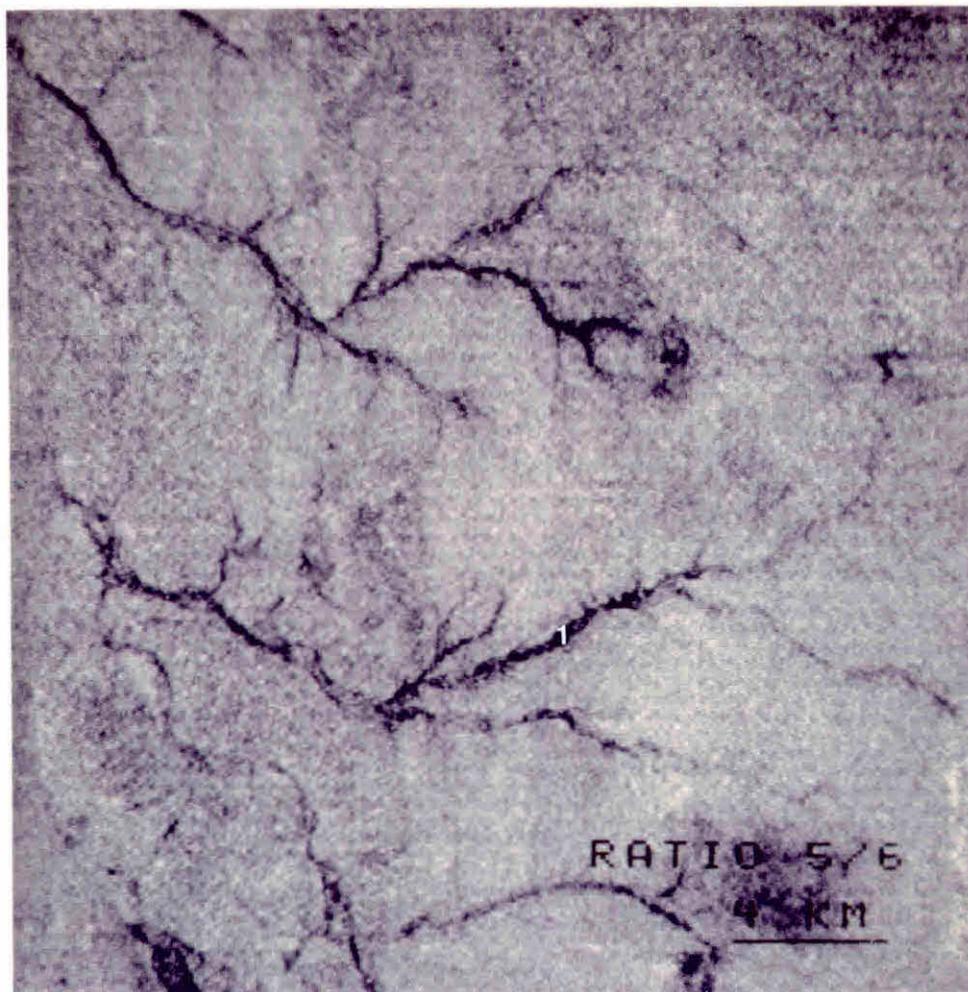


Figura 5.12

Canal MSS 5/6 - época seca, realçado por A.L.C.
Ponto de referência discutido no texto.

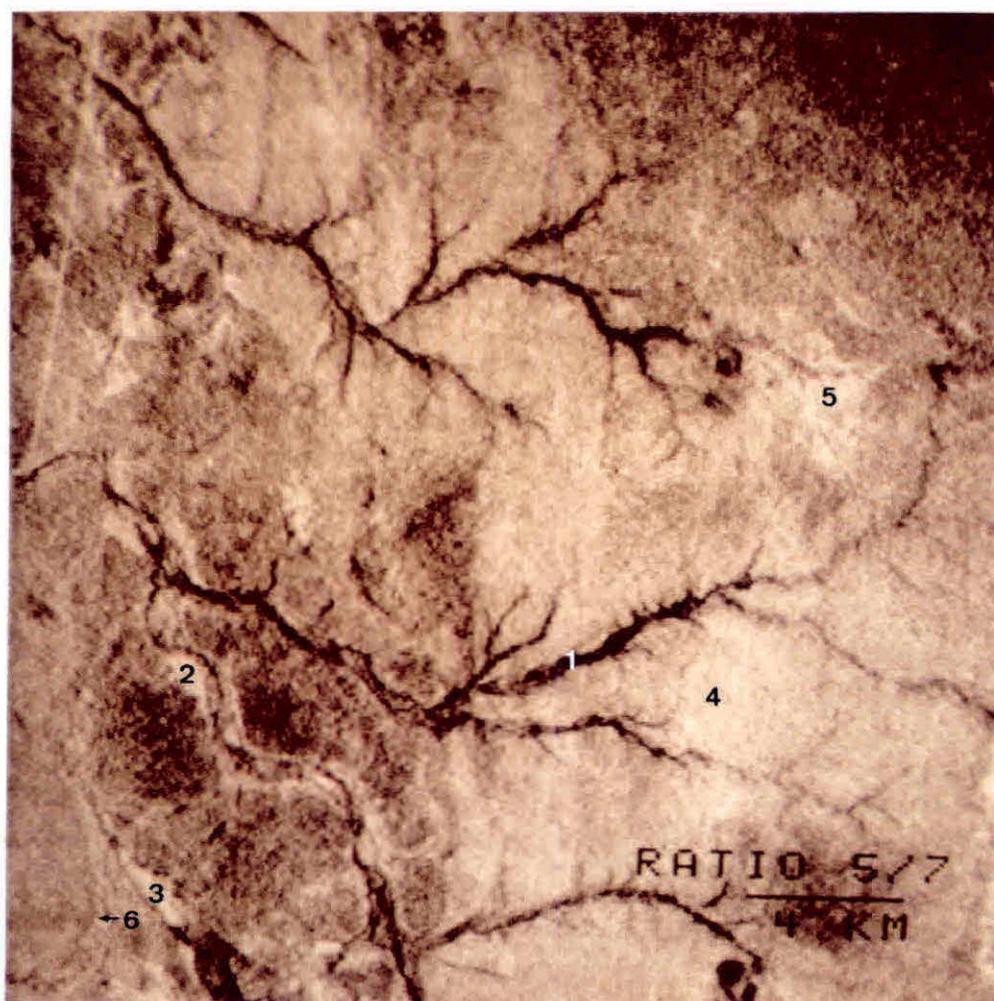


Figura 5.13

Canal MSS 5/7 - época seca, realçado por A.L.C.
Pontos de referência discutidos no texto.

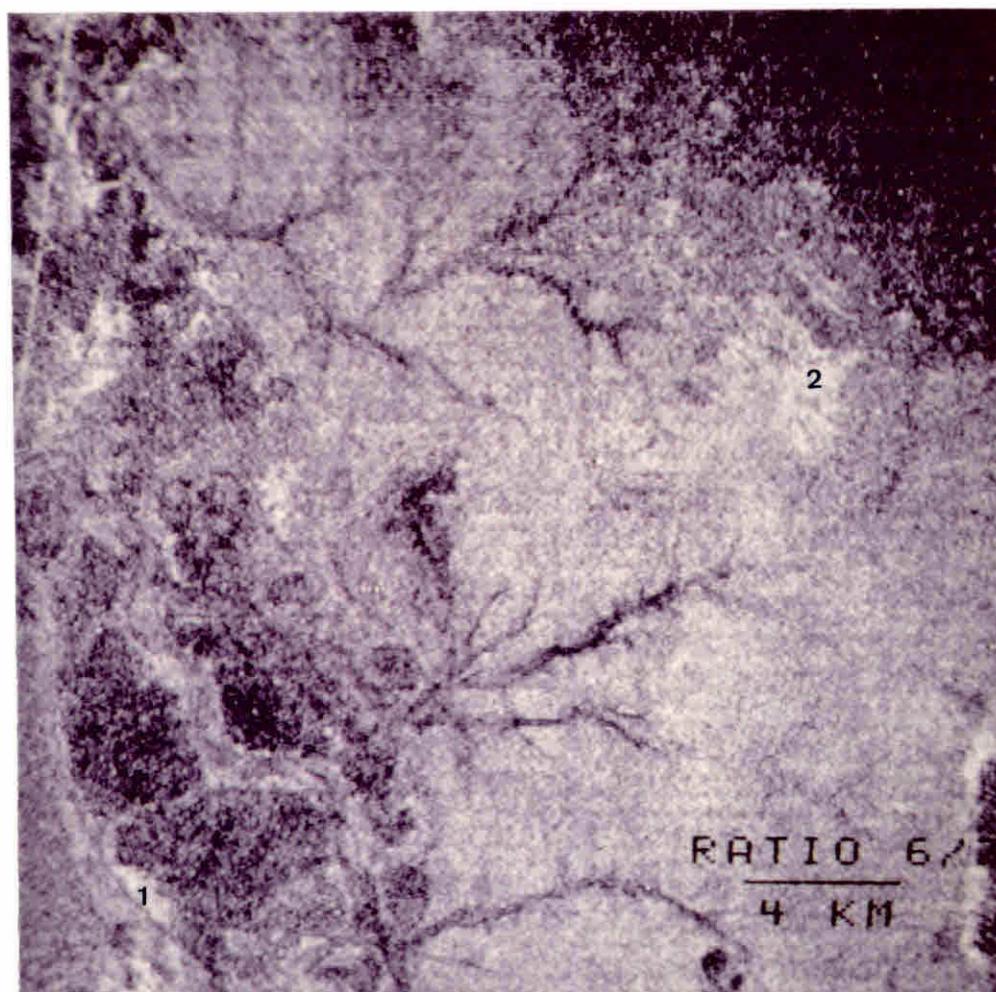


Figura 5.14

Canal MSS 6/7 - época seca, realçado por A.L.C.
Pontos de referência discutidos no texto.

Os extremos da escala de cinza das imagens "ratio" obtidas, representam as maiores diferenças em reflectância espectral. Da análise destas cenas, é possível obter informações sobre a tendência das curvas (gradiente) espectrais dos alvos na área.

Assim, áreas mais claras em cada imagem "ratio" são aquelas cujos numeradores no "ratio", são maiores que os denominadores, sendo o inverso para as áreas mais escuras. Por exemplo, a Unidade TN Banguê, no "ratio" 4/5, 5/6 e 6/7, se apresenta normalmente clara, indicando níveis de reflectância no canal 4, maior que no canal 5; no canal 5, maior que no canal 6 e no canal 6, maior que no canal 7, respectivamente.

A técnica do "ratio" também realça ruídos aleatórios ou ruídos coerentes, i. e, ruídos não correlacionados nas diferentes bandas. Assim, mesmo os sutis ruídos de varreduras, às vezes não perceptíveis nas bandas originais, são amplificados em algumas divisões, principalmente na razão 6/7 (Figura 5.14), cujas imagens normalmente mostram contrastes elevados.

A análise litológica das informações contidas nestas imagens, mostra aspectos valiosos e, por outro lado, certas ambiguidades, o que obriga a utilização destes produtos, em interpretações fotogeológicas, integrados com os canais originais.

Assim, as áreas de vegetação com folhagem verde, são bem indicadas nas imagens 5/6 e 5/7 (Pontos 1 - níveis muito escuros das Figuras 5.12 e 5.13) e 4/5 (Ponto 1 - níveis correspondentes claros na Figura 5.9). Tal padrão de resposta é compatível com o comportamento espectral da vegetação "verde", nas faixas espectrais consideradas.

As áreas aluvionares - Qa, são mostradas no "ratio" 5/7 com níveis brancos, que confundem-se com as respostas da Unidade Qc e com grandes extensões de TN Banguê (Pontos 2, 3 e 4, na Figura 5.13, respectivamente).

A separação entre Qc e Qa, é possível nos canais 4/5, 4/6 e 4/7 (Pontos 2 e 3; 1 e 2, e 1 e 2, nas Figuras 5.9, 5.10 e 5.11, respectivamente). A Unidade Qc confunde-se, entretanto, com a faixa clara de GCfx (Sw de Humaitã), nos canais 4/5, 5/7 e 6/7 (Pontos 3 e 4; 3 e 5; 1 e 2, nas Figuras 5.9, 5.13 e 5.14), discriminando-se nas bandas 4/6 e 4/7, pelos níveis mais elevados.

Já a Unidade Qe é passível de caracterização, nos "ratios" 4/5 e 4/6 (Pontos 5 e 3, nas Figuras 5.9 e 5.10, respectivamente).

O Calcário Caatinga (QCa) e a Unidade GCfx confundem-se em todos

os "ratios", indicando similaridades de respostas espectrais. Também o contato GMxg e GMfx, no NE da área-teste, é muito sutil nos "ratios" 4/5, 4/6 e 5/7, sendo inexistente nos outros produtos (Ponto 6, na Figura 5.9).

A Unidade GCmc é melhor detectada no "ratio" 5/7, sendo possível demarcar seu contato com TN Banguê (Ponto 6, na Figura 5.13). Porém, parte de sua extensão confunde-se com as Unidades GCfx e GMxg, neste canal.

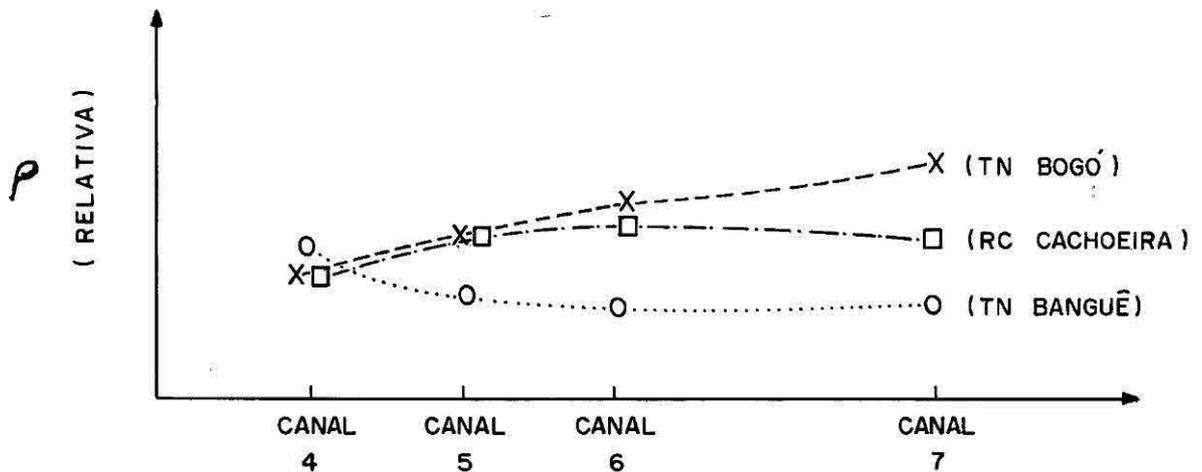
Um aspecto desvantajoso dos "ratios" em relação aos canais originais realçados, é a impossibilidade de detecção dos corpos de mafitos-ultramafitos e cálcico-silicáticos. Em nenhum dos produtos analisados, foi possível caracterizar a geometria destas litologias, por gradações de brilho.

Os aspectos positivos destas imagens estão, entretanto, ligados às informações fornecidas na caracterização dos metamorfitos do Grupo Caraíba.

A Unidade TN Banguê, mostrando-se com níveis de cinza claros nos "ratios", indica um comportamento espectral de reflectância decrescente da banda 4 para a banda 7, condizente com a filiação, supostamente mais máfica. Já para a Unidade TN Bogô, o comportamento exibido é inverso, i. e., o brilho mais escuro nos 6 "ratios", indica um padrão ascendente de reflectância espectral, do visível ao infravermelho, ajustando-se a um padrão de rochas de composições mais félsicas. A Unidade RC Cachoeira estaria com um comportamento intermediário aos dois conjuntos discutidos.

A relação mostrada na Figura 5.15, obtida empiricamente da análise visual do brilho presente, nos "ratios" e canais originais, fornece o modelo de interrelacionamento esperado no comportamento espectral das Unidades do Grupo Caraíba.

Este padrão de disposição para a Unidade TN Banguê, rica em intercalações anfibolíticas, se aproxima também dos resultados obtidos por Blodget et alii (1978), para unidades anfibolíticas, presentes na Arábia Saudita, com "ratios" sempre com níveis claros, nas bandas 4/5, 5/6 e 6/7, do MSS-Landsat. Além disto, em todos os "ratios", mas especialmente nos "ratios" 4/5, 4/6 e 4/7, o contato entre a Unidade RC Cachoeira e TN Banguê (borda meridiana oriental) segue o mesmo padrão, sugerido nas discussões da composição falsa-cor normal. Também, nestes produtos, observa-se que principalmente ao sul do Serrote da Salina, a Unidade TN Banguê apresenta faixas ou zonas discrepantes em brilho, sugerindo regiões de afinidades mais félsicas.



- Figura 5.15

Relação empírica de comportamento espectral, obtida para as Unidades TN Bogó, TN Banguê e RC Cachoeira, da análise dos canais originais e "ratios".

Outro aspecto interessante observado, refere-se à Serra Redonda. A análise dos "ratios" mostra que o Maciço Sienítico apresenta um comportamento espectral similar às áreas de drenagens com vegetação "verde". Isto indica que a Serra Redonda exibe influência superficial da cobertura vegetal verde, à época do recobrimento, bem destoante da cobertura seca da Serra da Cana Brava, cujos contrastes são bem visíveis, nos "ratios" 4/6 (Serra da Cana Brava = brilho elevado; Serra Redonda = ausente) e 5/7 (Serra Redonda = brilho baixo e Serra da Cana Brava = brilho elevado). Em extensão, a tonalidade avermelhada da Figura 5.8, refere-se à resposta de vegetação "verde" na Serra Redonda e a tonalidade escura de sua metade ocidental, está ligada a efeitos de sombreamento, que são bem minimizados nos produtos "ratio".

Também a suposição inicial de ser a tonalidade em magenta, da área anômala da Figura 5.8, ligada à resposta de vegetação "verde", não encontra mais sustentação pelas discrepâncias em brilho, observadas para estas duas áreas, nos "ratios" 4/5 e 6/7. Desta forma, esta anomalia de reflectância deve estar associada a outras condições superficiais, que a diferença do "background" da região.

Finalmente, a variação espectral detectada nos produtos anterior-

res, para a continuidade leste da Unidade TN Banguê, pode ser em parte visualizada nos "ratios" 4/5, 4/6 e 6/7, porém sem um conhecimento prévio desta discrepância, seria difícil sua constatação.

5.5 - Composição Colorida com Divisões de Canais

Composição colorida com imagens "ratio" oferece um meio adicional de realçar diferenças espectrais, associadas a condições superficiais. Considerando-se que duas áreas espectralmente distintas, possam ter gradações de cinza muito próximas e imperceptíveis em imagens individuais "ratio" preto e branco, uma combinação adequada de cor pode permitir a discriminação com base nas variações ou nuances de matiz. A discriminação ocorrerá não apenas porque as informações das várias imagens "ratio" isoladas, estão agora combinadas, mas também pela característica inerente ao olho humano, mais sensível para perceber diferenças de cores que gradações de cinza.

Um grande número de combinações de cores e de canais "ratio" é possível, sendo que idealmente a seleção das imagens adequadas, deve apoiar-se em características espectrais de cada unidade de interesse. Este aspecto será discutido com detalhes, no Capítulo 8.

A composição colorida da Figura 5.16, foi selecionada pelos resultados bem sucedidos, apresentados em trabalhos de discriminações litológicas na literatura (Rowan et alii, 1974; Blodget et alii, 1978) e, também, por levar em conta a informação espectral dos 4 canais originais: MSS 4/5 com azul + MSS 5/6 com verde + MSS 6/7 com vermelho. Todos os canais foram previamente realçados por A.L.C., com os mesmos parâmetros anteriores (Tabela 5.2).

Esta composição não forneceu os resultados esperados. Basicamente as características tonais são pobres, com variações pequenas nas nuances de matiz.

Assim, áreas de vegetação "verde", na Figura 5.16, podem ser identificadas pelos tons azuis escuros; aluviões (Qa) por tonalidades branco-pálido, Unidades Qca, RC Cachoeira, partes de TN Banguê e de GCfx (borda da Serra da Cana Brava e SW de Humaitã), são confundidas nas nuances de amarelo.

O contato dos mármores GCmc/gnaisses TN Bogô, no canto inferior da Figura 5.16, pode ser traçado com dificuldade, embora o contato GCmc com GCfx seja nítido. Para NE da área, o contato entre os metamorfitos dos Gru-

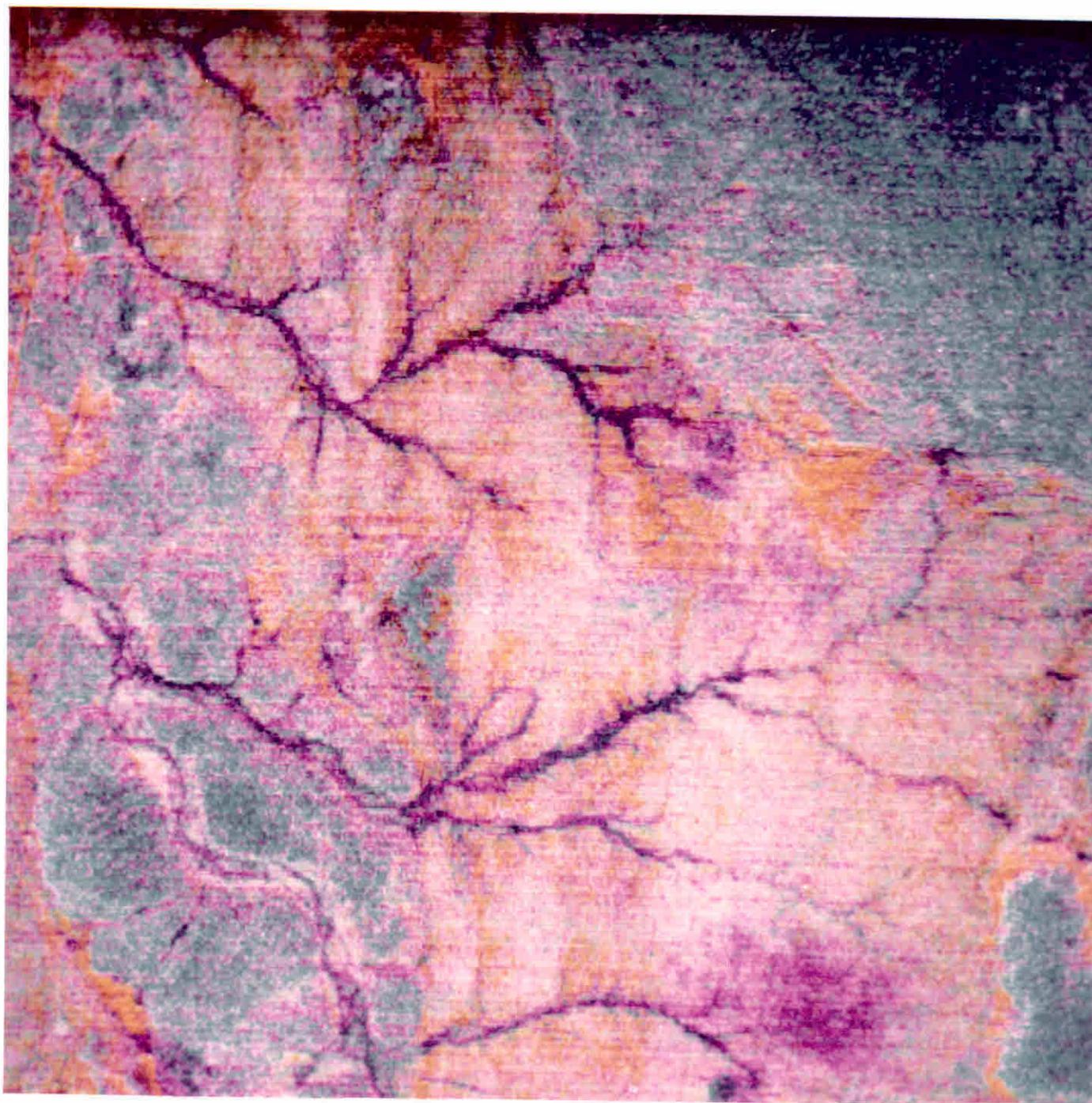


Figura 5.16

Composição Colorida com 3 canais "ratio": MSS 4/5 com azul + MSS 5/6 com verde + MSS 6/7 com vermelho. Canais previamente realçados por A.L.C. Escala aproximada 1:160.000.

pos Canudos e Macururé é nítido, delimitando zonas em cian claro e escuro.

O topo da Serra da Cana Brava, a faixa GMxg, os calcários Caatinga e grande extensão de GCfx são indistinguíveis, na Figura 5.16, pelas generalizadas gradações de tonalidade cian.

Uma área que se destaca bem nestas imagens, é a mancha magenta, a NE da Serra Redonda, com padrão bem distoante para a região. O realçamento da drenagem também aparenta ser um melhoramento sobre a composição colorida normal (Figura 5.8).

De modo geral, os pequenos realces conseguidos e as ambiguidades reveladas, indicam a necessidade da utilização de critérios mais rigorosos, na seleção dos canais "ratio" para composições coloridas, ao mesmo tempo que demonstram que a extrapolação de técnicas bem sucedidas em outras condições ambientais, não deve ser regra geral neste campo de pesquisa.

5.6 - Realces por Componentes Principais

No esforço de avaliar a capacidade do tratamento digital, na discriminação de unidades litológicas do Baixo Vale do Curaçá, o algoritmo de Componentes Principais (PRINCO), foi também testado. Maiores detalhes sobre este Programa, podem ser encontrados no trabalho de Câmara Neto et alii, 1980.

Fundamentalmente, o procedimento se resume a:

- 1) geração dos parâmetros estatísticos entre as 4 bandas originais;
- 2) aplicação da análise por Componentes Principais, com extração da Matriz de transformação (AUTO VETORES) e AUTO VALORES, a partir dos dados da Matriz de Covariância dos canais originais;
- 3) aplicação de Ampliação Linear de Contraste (A.L.C.), nos canais transformados obtidos.

Os dados apresentados nas Tabelas 5.3 a 5.6, são correspondentes a todos os "pixels" contidos na área de estudo (262.144 "pixels" ou observações). Os canais originalmente foram corrigidos por correção radiométrica e de varredura.

Os valores da Tabela 5.3 mostram que os 4 canais originais, são altamente correlacionados, com maior correlação entre os canais 6 e 7.

A grande redundância entre os 4 canais na época seca, está ligada principalmente à pouca influência da cobertura vegetal perene-folia, que

Canal MSS	4	5	6	7
4	1.000	0.915	0.883	0.844
5	0.915	1.000	0.951	0.914
6	0.883	0.951	1.000	0.954
7	0.844	0.914	0.954	1.000

Tabela 5.3

Matriz dos coeficientes de correlação para o Baixo Vale do Curaçá, BA, canais originais, época seca.

Canal MSS	4	5	6	7
4	85.984	128.626	131.183	102.028
5	128.626	229.580	230.916	180.514
6	131.183	230.916	256.560	199.277
7	102.028	180.514	199.277	170.024

Tabela 5.4

Matriz de Covariância/Variância para a região do Baixo Vale do Curaçá, BA.

CP \ Canal	4	5	6	7
1º	-0.322	-0.560	-0.597	-0.475
2º	-0.586	-0.466	0.273	0.604
3º	-0.726	0.528	0.207	-0.390
4º	0.162	-0.436	0.725	-0.507

Tabela 5.5

Matriz dos Auto-Vetores, após Componentes Principais para a Matriz da Tabela 5.4.

Componentes Principais	Auto-Valores	% informação
1ª CP	702.679	94.7
2ª CP	21.933	3.0
3ª CP	9.863	1.3
4ª CP	7.673	1.0

Tabela 5.6

Auto-Valores e % de informação, associada a cada canal transformado ou cada Componente Principal.

normalmente é a causa das altas correlações entre os canais do visível (4 e 5) e os do infravermelho (6 e 7), de imagens Landsat.

A Tabela 5.4 mostra a Matriz de Covariância, para os canais originais da época seca. Ao longo da diagonal principal da matriz, tem-se a variância estimada de cada canal. O canal 6 seria o canal de maior variabilidade ou informação, como visto anteriormente nos histogramas da Figura 5.2. Os outros valores numéricos indicam a covariância entre os canais, sendo que os valores positivos de covariância, denotam canais positivamente correlacionados. A variância total ou quantidade total de informação, nos 4 canais originais, assumindo-se uma distribuição normal dos níveis cinza, é dada pelo somatório das variâncias da diagonal principal da matriz, i. e., $\sum s^2 = 742,148$.

Na Tabela 5.5, são apresentados os auto-vetores (Eigen - Vectors), após a transformação por Componentes Principais, obtidos dos valores da Tabela 5.4. O primeiro Componente Principal tem uma contribuição negativa de todos os 4 canais, da mesma magnitude. Este componente normalmente configura uma imagem de albedo, i. e., associada com os valores de brilho dos canais originais, destituída de informações ligadas à matriz (Gillespie, 1980).

O segundo Componente tem contribuições negativas dos canais 4 e 5 originais e contribuições positivas dos canais 6 e 7, sendo o canal 7, o que mais contribui para este componente. O segundo Componente denota básica

mente o contraste espectral intrínscico, dos canais originais Landsat, entre as bandas do visível (4 e 5) e as do infravermelho (6 e 7). O terceiro e quarto Componentes pouco contribuem na quantidade de informação redistribuída (2,3% da Variância total), sendo que normalmente, o quarto Componente está ligado ao ruído inerente aos 4 canais originais.

A Tabela 5.6 mostra os auto-valores (Eigen-Values), após a transformação por Componentes Principais, a partir de dados das Tabelas 5.4 e 5.5. A percentagem de Variância em cada eixo transformado é de 94,7%; 3,0%; 1,3% e 1,0%, respectivamente. A Variância total ($\sum s^2 = 742.148$) foi mantida, isto significando que a informação original não foi alterada, apenas redistribuída nos novos eixos, porém de forma não correlacionada, i. e, sem redundância entre os novos canais.

A Figura 5.17 mostra os novos histogramas para os canais transformados, a partir dos quais foram selecionados os intervalos, para a aplicação da Ampliação Linear de Contraste.

As Figuras 5.18, 5.19, 5.20 e 5.21 mostram os resultados finais, com os intervalos de realce por A.L.C., sendo: 1ºCP - 64 a 192; 2ºCP - 112 a 144; 3ºCP - 112 a 144 e 4ºCP - 112 a 144.

A análise individual dos Componentes Principais permite algumas constatações. O primeiro Componente Principal possibilita a detecção de várias unidades, que são entretanto indiscrimináveis.

Regiões de drenagens com vegetação perenefolia confundem-se com as áreas de Elúvio Grosseiro (QE), Calcário Caatinga (QCa) e grandes extensões de GCfx e GMxg, todos com níveis elevados de brilho. A detecção de mafitos é perfeita, em níveis até superiores aos dos canais originais, porém discriminações são inviáveis pelas similaridades, nas gradações de cinza registradas. Tais conclusões são também extensivas aos corpos cálcico-silicáticos e de quartzito ferrífero, cujas correspondências espaciais com os dados prévios, são elevadas.

Áreas de mármore (GCmc) confundem-se em parte com gnaisses máficos TN Banguê e áreas migmatíticas de RC Cachoeira. Normalmente, poder-se-iam associar "zonas mais félsicas", nesta imagem da Figura 5.18, com os baixos níveis de brilho (áreas em negro), porém a presença deste padrão para a faixa TN Banguê, disposta a oeste do Serrote da Salina, onde mafitos-ultramafitos são comuns, reforça certo caráter ambíguo da cena.

O segundo Componente Principal (Figura 5.19), diretamente associado ao contraste espectral intrínscico dos canais MSS-Landsat, no visível/

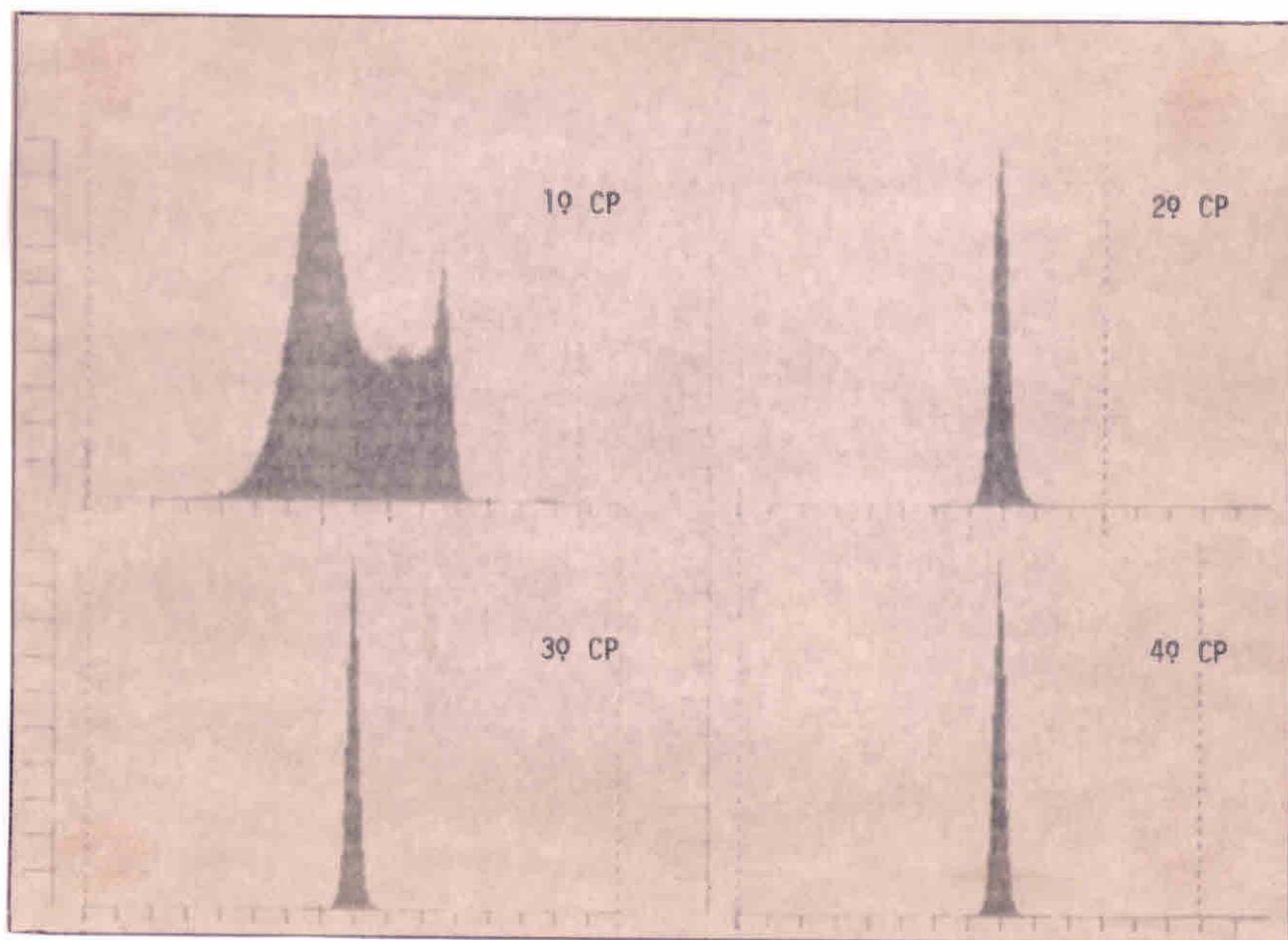


Figura 5.17

Histograma dos 4 Componentes Principais, da imagem época seca, do Baixo Vale do Rio Curaçã. A % de informação em cada canal seria: 94,7%; 3,0%; 1,3% e 1,0%, respectivamente.

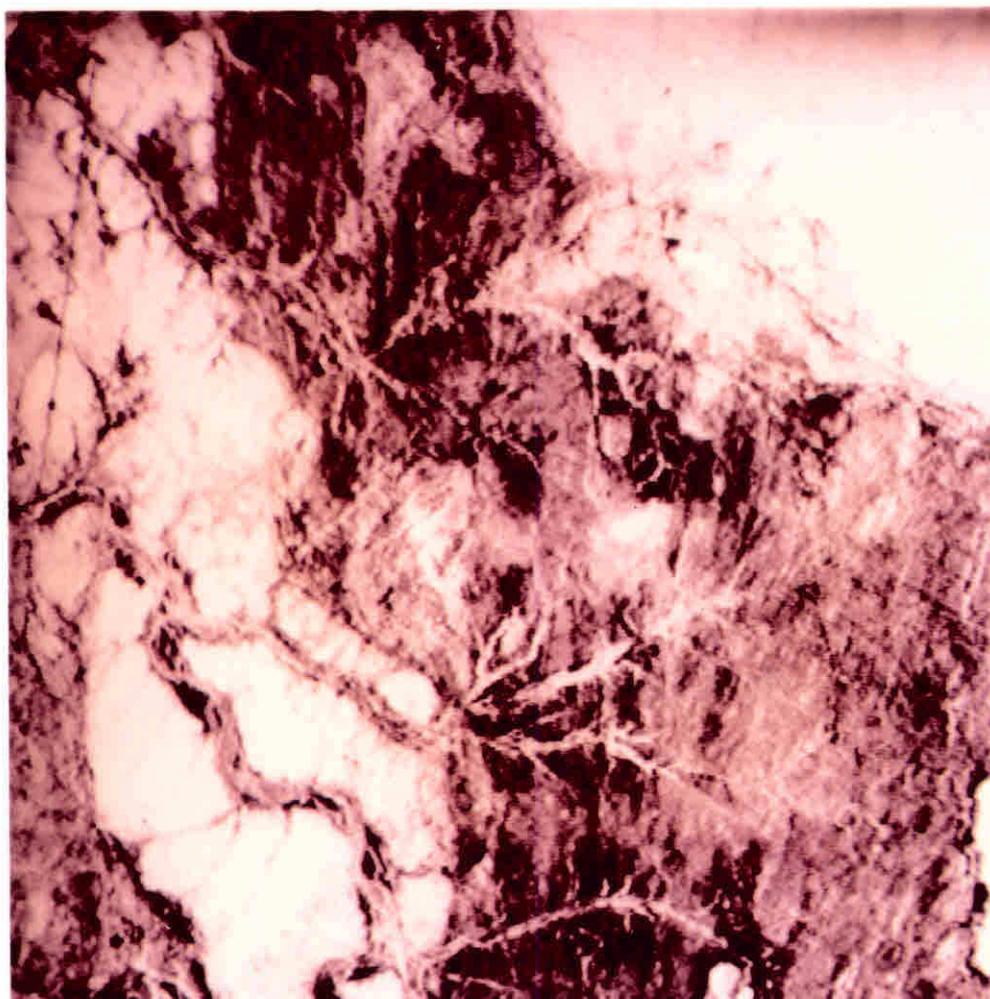


Figura 5.18

Primeiro Componente Principal da época seca com 94,7% de informação das imagens originais e realçado posteriormente por A.L.C.

Escala aproximada 1:200.000.

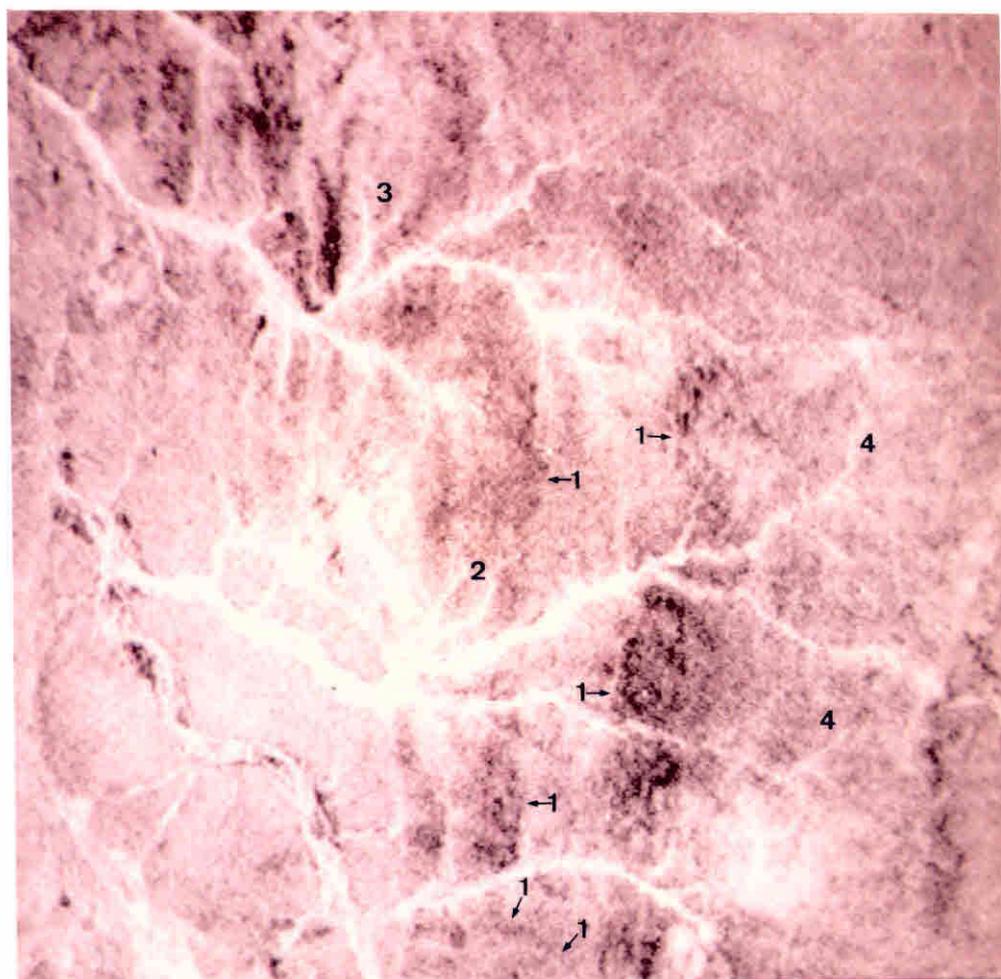


Figura 5.19

Segundo Componente Principal, com 3,0% da informação original e realçado por A.L.C. Escala aproximada 1:200.000.

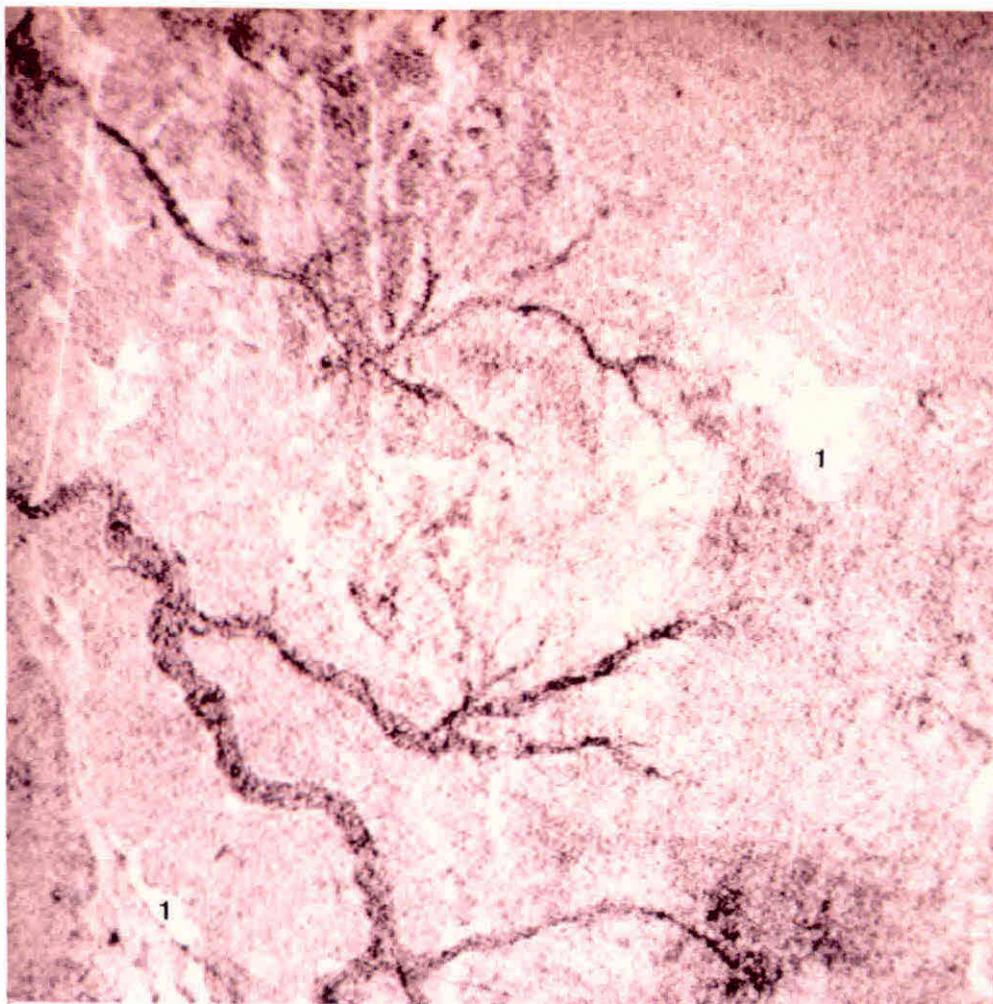


Figura 5.20

Terceiro Componente Principal, com 1,3% da informação original e realçado por A.L.C. Escala aproximada 1:200.000.



Figura 5.21

Quarto Componente Principal, apresentando menor relação sinal/ruído, com 1,0% da informação original e realçado por A.L.C. Escala aproximada 1:200.000.

infravermelho, permite um melhor entendimento das gradações presentes e fornece resultados valiosos, ligados fundamentalmente aos metamorfitos de alto grau do Grupo Caraíba.

Assim, o aspecto marcante nesta imagem é a delimitação precisa dos contatos TN Banguê/RC Cachoeira (Ponto 1, Figura 5.19), já realçados anteriormente nos processamentos prévios, mas não com a clareza deste componente. Um padrão de cinza claro pode ser associado às Unidades TN Bogô e RC Cachoeira, e padrões opostos, i. e, cinza escuro, são correlacionados espacialmente às áreas da Unidade TN Banguê. Tais dados são condizentes com uma maior contribuição do canal 7, neste Componente (como discutido na Tabela 5.5), já que tal banda teoricamente, mostraria maior contraste entre materiais pobres e ricos em Ferro, i. e, unidades fêlsicas e máficas.

Na Unidade TN Banguê, são constatadas áreas mais claras, também detectadas anteriormente, enfatizando composições mais fêlsicas, nas associações "solo + rocha" destas regiões (Área 2 e 3). Finalmente, a análise visual desta cena, sugere também uma mudança no comportamento superficial da Unidade TN Banguê, em sua continuidade oriental, com um padrão mais claro que a faixa N-S ocidental (Áreas 4).

O terceiro Componente Principal mostra em grande destaque as áreas de drenagens, integrando as respostas, algo distintas, de vegetação perene e de aluvião, em um só conjunto de níveis escuros de brilho.

As regiões de ocorrência das Unidades Qc e filitos GCfx, são bem detectadas, mas confundem-se no brilho comum elevado (Áreas brancas 1). O contato TN Bogô e GCmc é bem visível, delimitando áreas de gradações de cinza distintas.

O quarto Componente Principal, pela baixa relação sinal / ruído, não forneceu informações.

5.7 - Composição Colorida de Componentes Principais

Todas as informações extraídas anteriormente das análises dos Componentes Principais individuais, podem ser obtidas do uso de um só produto, como mostrado na Figura 5.22, com as vantagens já discutidas, da utilização de cores.

A Figura 5.22 foi obtida, utilizando-se os 3 primeiros Componentes Principais e as cores azul (em negativo), vermelho e verde, respectivamente.

Da análise deste produto, merecem destaque a detecção e discriminação entre as unidades: Qc e Qa, não tão enfatizadas, na composição colorida falsa-cor dos canais originais (Figura 5.8) e representadas na Figura 5.22 (Pontos 1 e 2, respectivamente) pelos contrastes esbranquiçados e magenta; Qc e GCfx (zona de filitos), detectadas mas não discriminadas na Composição Colorida com "ratios" (Figura 5.16), aqui mostradas com tonalidades esbranquiçadas e cian-esbranquiçados (Pontos 1 e 3, na Figura 5.22, respectivamente); TN Bogô e RC Cachoeira, de difícil detecção e discriminação, nas Figuras 5.8 e 5.16, mas muito bem caracterizadas, na composição de Componentes Principais, pelas tonalidades magenta (homogênea), magenta e esbranquiçada (Pontos 4, 5 e 6 na Figura 5.22, respectivamente).

As relações espaciais entre as grandes unidades são também de fácil traçado, como por exemplo: os contatos TN Bogô/GCmc; GCmc com GCfx, RC Cachoeira/TN Banguê, embora a imagem seja pobre na definição da Unidade GCmc nos Serrotes da Salina e Melancia e os pequenos corpos sejam irreconhecíveis (máficas-ultramáficas, cálcico-silicáticas, quartzito ferruginoso). Também não é muito visível o contato entre os Grupos Canudos e Macururê, no nordeste da área.

A região de ocorrência do calcário secundário Caatinga é detectável, porém confunde-se com as zonas de xistos/filitos GCfx e a área de reflectância anômala a NE da Serra Redonda tem tonalidade magenta, confundindo-se com TN Bogô e drenagens.

A Unidade TN Banguê mostra algumas áreas de tonalidades esbranquiçadas (Área 7) e magenta (Área 8). Para leste, exhibe uma mudança de tons azul/cian para magenta salpicada de azul, sendo difícil a localização do contato, embora a mudança de coloração seja evidente (Área 9).

As vantagens e desvantagens deste produto em relação aos anteriores, irão depender obviamente das necessidades e interesses em discriminações particulares do usuário.

De maneira geral, pode-se dizer que o melhor desempenho em alguns aspectos e ambiguidades em outros, só enfatiza a necessidade de uma abordagem integrada de técnicas de tratamento digital de imagens, com uma análise passo a passo dos produtos disponíveis.

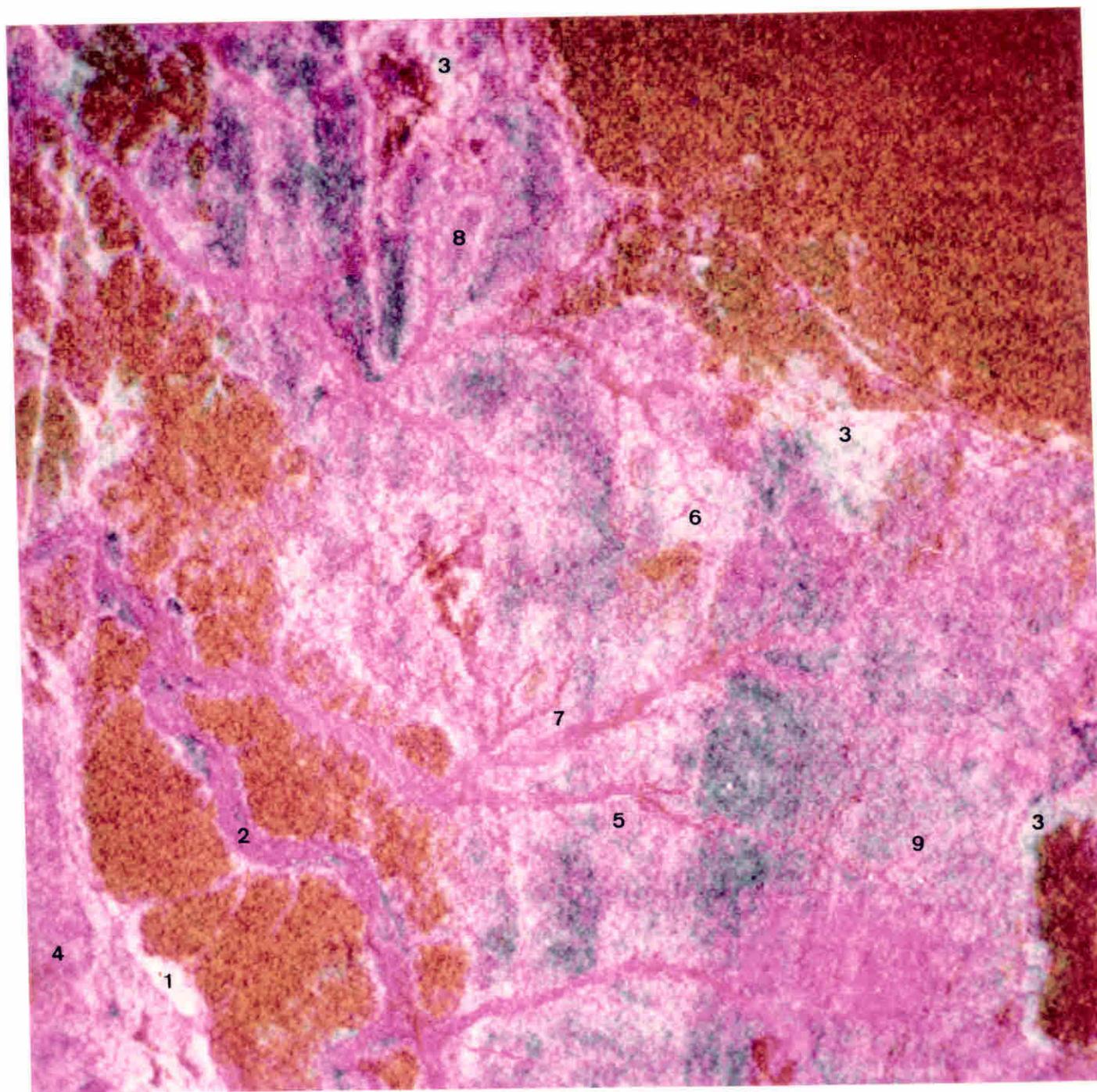


Figura 5.22

Composição colorida de 3 Componentes Principais dos Canais MSS-Landsat, do Baixo Vale do Curaçã, BA. O 1º CP está associado ao azul (negativo), o 2º CP ao vermelho e o 3º CP ao verde. Todos os canais transformados, foram realçados por A.L.C. Escala aproximada 1:160.000.

CAPÍTULO 6

ANÁLISE MULTISAZONAL

6.1 - Introdução

O valor na discriminação litológica do atributo temporal de dados digitais Landsat, foi também investigado para a área-teste.

Admitindo-se que, na ausência de outros dados, a precipitação medida em Bebedouro (Tabela 5.1) corresponda à ocorrida no mesmo período no Baixo Vale do Curaçá, as discussões neste capítulo procuram analisar o significado, na discriminação litológica, das variações tonais ocorridas na paisagem e registradas nas fitas MSS-Landsat, pelos 246.2 mm. precipitados entre 23/nov./1978 e 21/fev./1979.

Toda a sequência de tratamento digital anteriormente desenvolvida e discutida, foi repetida com as imagens da época chuvosa, sendo que neste capítulo, por limitações de ilustração, apenas os produtos mais relevantes serão abordados.

6.2 - Composição Colorida Falsa-Cor

A Figura 6.1 foi obtida através dos canais 4, 5 e 7, corrigidos preliminarmente (Correção Radiométrica e "striping") e ampliados por A.L.C. (intervalos utilizados: canal 4 - 24 a 64; canal 5 - 16 a 80; canal 7 - 56 a 104). Estes 3 canais foram associados às cores azul, verde e vermelha, obtendo-se o mesmo tipo de composição falsa-cor, da Figura 5.8 (época seca).

A análise da imagem chuvosa revela marcantes diferenças em relação à época seca.

Inicialmente, as tonalidades avermelhadas são dominantes e estariam ligadas à vegetação caducifólia, com exceção de drenagens, i. e., com a chegada das chuvas, esta cobertura vegetal renasce e este comportamento responderia pela alta reflectância no infravermelho e absorções pela clorofila, nas bandas do visível.

A localização e a extensão destes efeitos na área, implicam em algumas suposições:

- 1) as respostas espectrais do Grupo Caraíba não são afetadas pe-

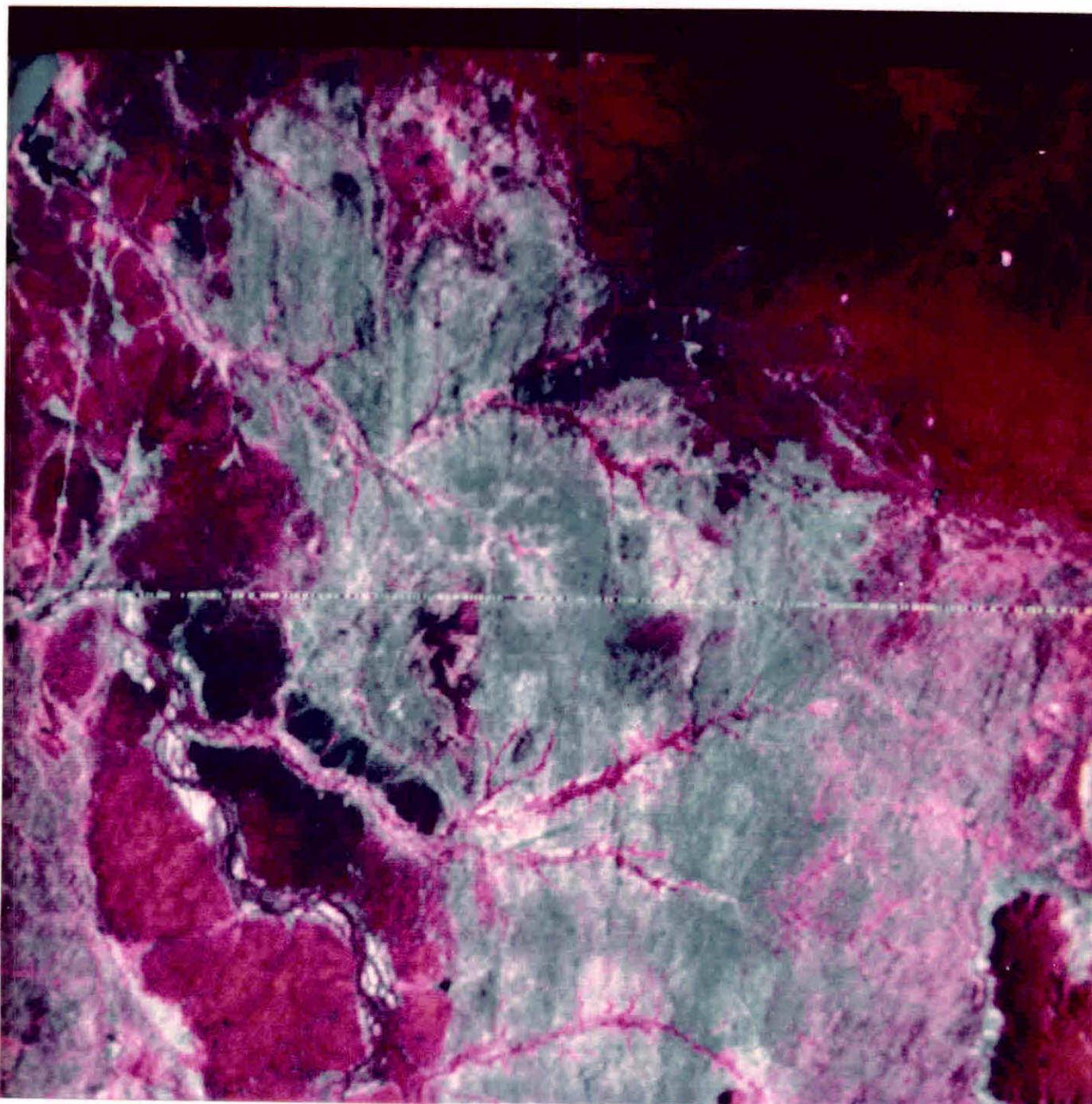


Figura 6.1

Composição Falsa-Cor (época chuvosa), do Baixo Vale do Rio Curaçã, BA. Canais 4, 5 e 7 realçados por A.L.C., combinados com cores azul, verde e vermelho. A variação temporal na paisagem, pode ser vista na comparação com a Figura 5.8. Escala aproximada 1:160.000.

la cobertura vegetal, quer na época seca, quer na época chuvosa, indicando uma baixa densidade de cobertura vegetal. As variações agora observadas estariam relacionadas mais à influência de umidade na associação "rocha + solo", com reflexões mais elevadas no visível e grande absorção no canal 7. Esta suposição é reforçada pelo padrão tonal análogo, encontrado para o trecho do Rio São Francisco, registrado na cena, com contraste entre sedimentos em suspensão (azul claro) e água mais límpida no afluente (azul escuro);

2) os metamorfitos do Grupo Canudos são em grande parte afetados pela cobertura vegetal, com grande absorção na época seca e aumento de reflectância ligado à presença de folhas na época chuvosa. Em relação aos terrenos do Grupo Caraíba, deve ocorrer ou densidade de vegetação muito mais elevada, ou associações florísticas distintas, ou ambos. De qualquer forma, um controle geobotânico parece evidente;

3) as áreas escuras no Grupo Macururê e, em parte, do Grupo Canudos, implicariam em algumas possibilidades: as associações vegetais nestas regiões seriam diferentes e desta forma responderiam de modo distinto às mesmas condições de precipitação; as densidades de cobertura seriam diferentes e o componente substrato teria uma grande participação na resposta ou as regiões não teriam sofrido um padrão uniforme de precipitação;

4) as regiões ao longo das drenagens, com tons avermelhados, mantidos tanto na estação seca quanto na chuvosa, indicam as associações perene-fólias.

Do ponto de vista de discriminação litológica, um outro aspecto valioso deste produto relaciona-se à definição da faixa N-S, disposta na borda oriental da área, cujos mapas anteriores, generalizavam como associadas a gnaisses/migmatitos do Grupo Caraíba (Jordan, 1968; Leube, 1972). As diferenças espectrais marcantes não permitem analogias composicionais entre este conjunto e a zona adjacente a oeste, pertencente à Unidade TN Banguê. A análise dos padrões tonais desta faixa oriental, não permite com mais clareza sugerir quais condicionantes superficiais são dominantes na resposta, devido à justaposição de padrões em magenta e azul, constituindo uma textura heterogênea no conjunto.

Em adição, algumas conclusões anteriores sobre a ausência de cobertura vegetal para a faixa filítica da borda da Serra da Cana Brava e para a área do Grupo Canudos, a SW de Humaitã, podem ser certificadas ago-

ra. A mesma tonalidade azulada destas áreas com as regiões TN Banguê e TN Bogô, podem ser explicadas pela grande atenuação causada pela umidade, provocando um escurecimento (absorção) nas superfícies destas regiões. Para a faixa RC Cachoeira, com padrões claros, os efeitos superficiais de umidade não seriam tão persistentes.

Convém ainda salientar que a grande zona anômala a NE da Serra Redonda, indistinguível neste realce, favorece a idéia de que condições superficiais ligadas a "solo + rocha" na área, sejam responsáveis pela anomalia em magenta, da Figura 5.8, sem influência de uma possível cobertura vegetal "perenefolia".

Finalmente, observa-se que a Serra Redonda mostra o sombreamento na sua metade oeste, atestando as conclusões anteriores de resposta de "folhagem verde", na época do recobrimento, da Figura 5.8.

6.3 - Divisões de Canais

As Figuras 6.2, 6.3 e 6.4 correspondem aos "ratios" MSS 5/6, 4/7 e 6/7, obtidos sem correções atmosféricas dos canais originais da época chuvosa, realçados por A.L.C. Os parâmetros utilizados na transformação são vistos na Tabela 6.1.

Canal	Ganho	Offset	Intervalo (A.L.C.)
5/6	50	10	16 - 64
4/7	50	10	22 - 66
6/7	50	10	45 - 72

Tabela 6.1

Parâmetros utilizados na transformação não linear "ratio" dos canais originais, da época chuvosa da área estudada.

Teoricamente, a banda MSS 5/6 (Figura 6.2) seria a mais sensível à densidade de cobertura da biomassa verde e em alguns casos à diferenciação de espécies, na medida em que utiliza a banda de absorção de clorofila, próxima a $0.68 \mu\text{m}$ e a alta reflectância da vegetação, na faixa do infravermelho próximo (Colwell, 1974; Raines and Canney, 1980). Neste raciocí

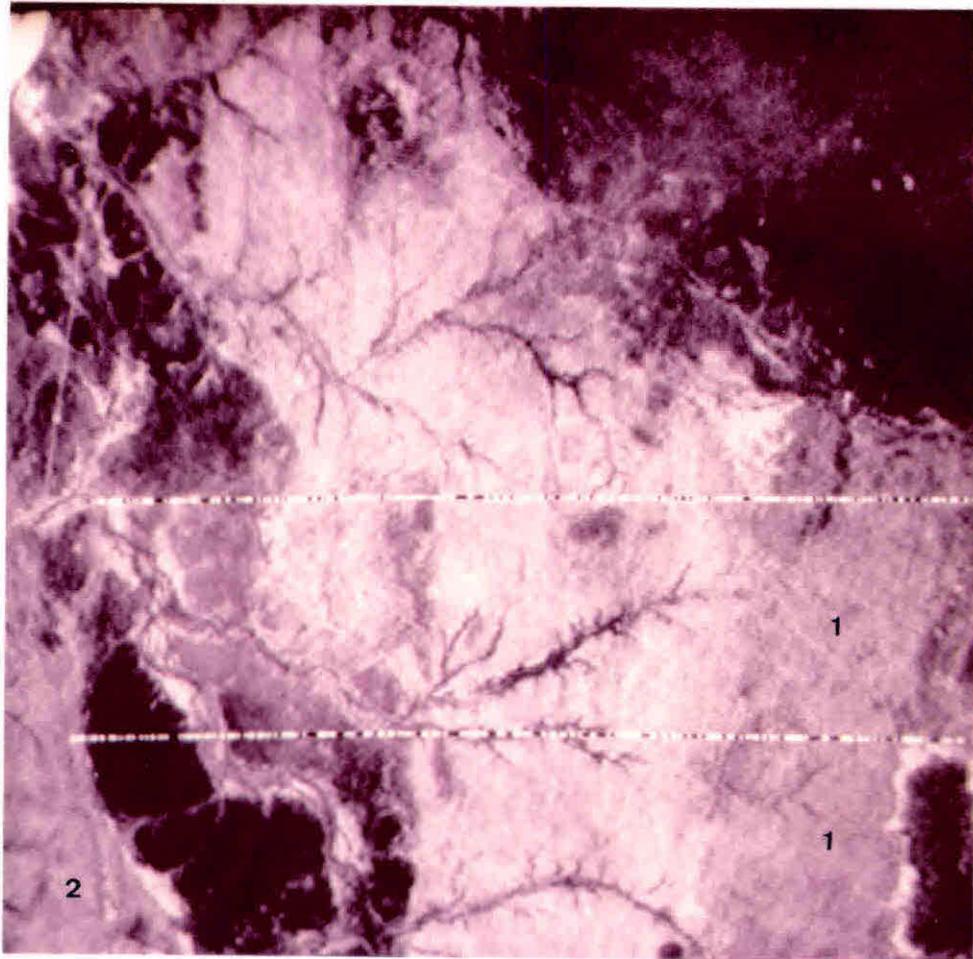


Figura 6.2

"Ratio" 5/6 da época chuvosa, realçado por A.L.C.
Escala aproximada 1:210.000.

nio, o incremento do brilho neste canal é inversamente proporcional à densidade de cobertura vegetal, i. e., as áreas mais escuras mostrariam maior densidade de cobertura de biomassa verde.

A análise das gradações de cinza na cena, são concordantes com as suposições previamente levantadas. Assim, as áreas controladas por vegetação verde são vistas no topo da Serra da Cana Brava, Serra Redonda, cursos de drenagens e grandes extensões de GCfx. Em oposição, as áreas mais claras tenderiam a mostrar variações de respostas espectrais fundamentalmente relacionadas à exposição de rochas + solos. Neste esquema, para a unidade detectada no Grupo Caraíba, na borda oriental da área-teste, a gradação de cinza médio indicaria, à primeira vista, uma contribuição balanceada de solos + rochas + vegetação (Áreas 1, Figura 6.2).

Entretanto, a similaridade de níveis de cinza com a Unidade TN Bogô (Área 2, na Figura 6.2) de baixa densidade de cobertura vegetal e a detecção, na extensão desta unidade oriental, de cursos secundários de drenagens com mata ciliar, sugere que a associação "rocha + solo" seja dominante sobre a influência de vegetação na resposta registrada.

A Figura 6.3, correspondente ao "ratio" 4/7, foi escolhida por ser um produto que manteve a sensibilidade à densidade de cobertura vegetal na área, ao mesmo tempo que enfatizou discrepâncias em reflectância, nas regiões de exposição de rochas e solos. Como aspectos importantes na imagem, são vistos:

- 1 - a faixa de ocorrência da Unidade RC Cachoeira e TN Banguê, com a definição aproximada de seus contatos, aliás coincidentes com os obtidos nas composições de época seca (Áreas 1 e 2);
- 2 - a extensão da unidade oriental, na faixa de ocorrência do Grupo Caraíba, próxima à Serra da Cana Brava (Áreas 3);
- 3 - diferentes comportamentos no Serrote da Melancia, com uma faixa oriental mais sensível à cobertura vegetal e uma borda ocidental de afinidades maiores com exposição de solos e rochas (Áreas 4 e 5, respectivamente).

A Figura 6.4 mostra o "ratio" MSS 6/7. Dos estudos de Siegal e Goetz (1977), este seria um dos "ratios" menos influenciado pela biomassa verde, indicando contrastes de brilho mais ligados a solos e rochas.

A análise dos padrões presentes nesta imagem, apesar da baixa relação sinal/ruído, permite individualizar a faixa oriental dos metamorfitos de alto grau do Grupo Caraíba, reforçando a argumentação anterior de

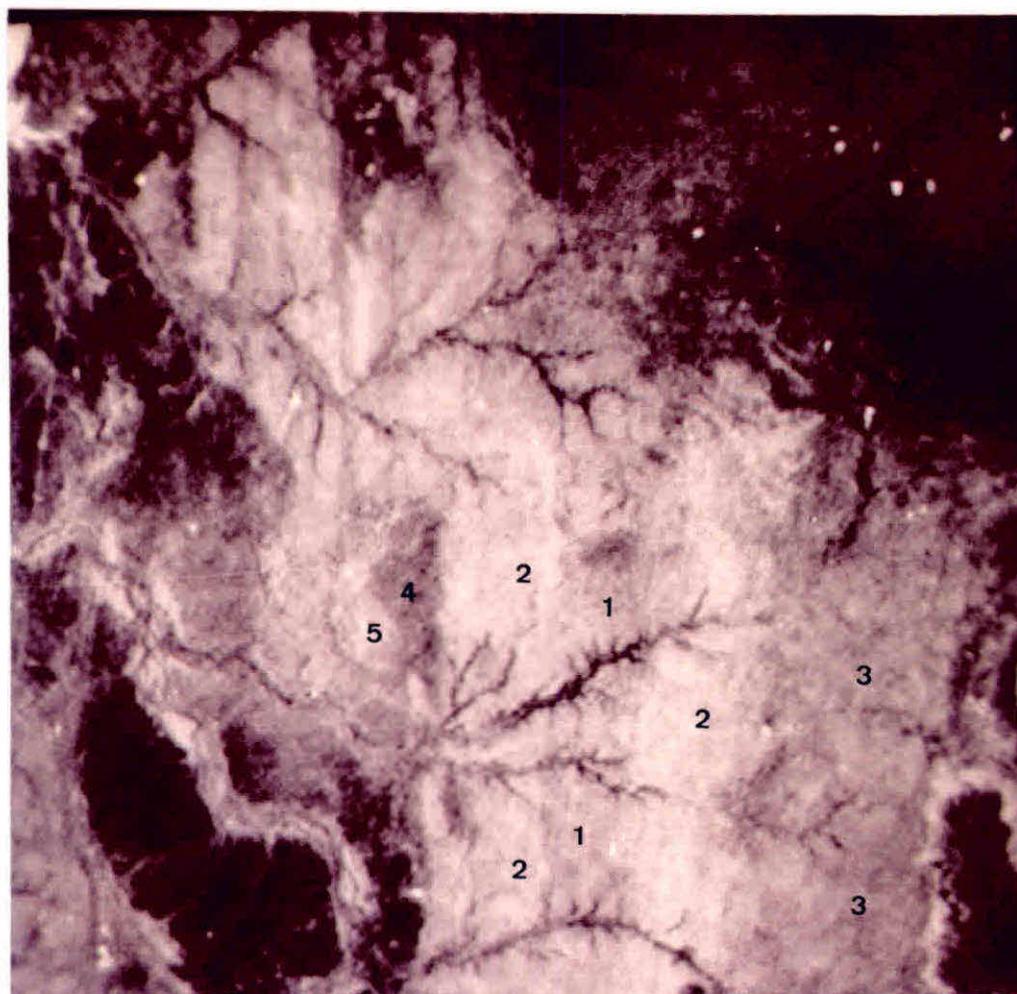


Figura 6.3

"Ratio" 4/7 da época chuvosa, realçado por A.L.C.
Escala aproximada 1:210.000.

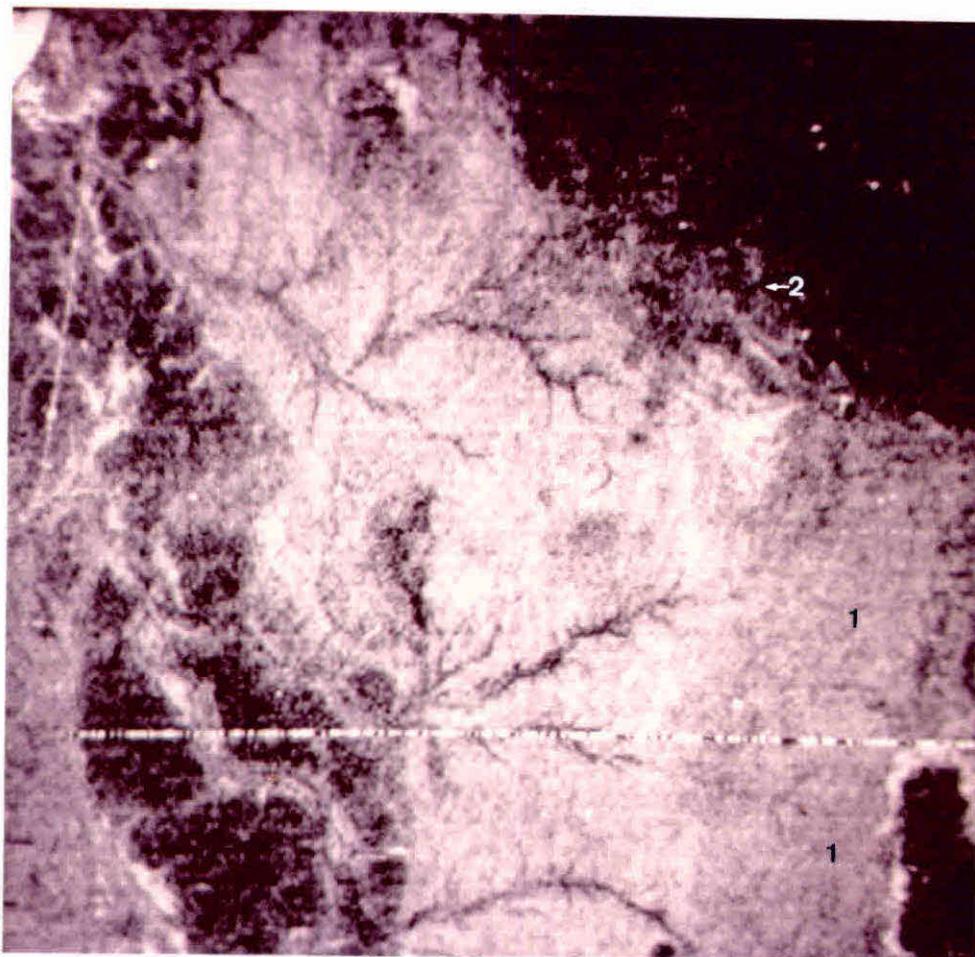


Figura 6.4

"Ratio" 6/7 da época chuvosa, realçado por A.L.C.
Escala aproximada 1:210.000.

que a resposta espectral detectada, relaciona-se mais à participação dos solos + rochas nos "pixels" do Landsat da época chuvosa (Áreas 1, Figura 6.4). Ao norte, a zona de contato entre os metamorfitos dos Grupos Canudos/ Macururê pode ser traçada, embora se esteja analisando uma imagem de época chuvosa e de uma região na cena cuja influência da cobertura vegetal com folhagem verde, é supostamente elevada (Ponto 2, Figura 6.4). Este "ratio" 6/7 parece ser o mais adequado quando se pretende minimizar efeitos de cobertura vegetal "verde", em abordagens de discriminação litológica e de solos, devendo ser enfatizada a sua utilização, para regiões destituídas de marcada sazonalidade, característica ambiental comum de várias regiões do país.

6.4 - Componentes Principais

As Tabelas 6.2, 6.3, 6.4 e 6.5 contêm parâmetros estatísticos da transformação linear por Componentes Principais da época chuvosa. A Figura 6.5 foi obtida no GE I-100, associando-se o 1º CP com azul, o 2º CP com vermelho e o 3º CP com verde (negativo). Os intervalos de Ampliação Linear de Contraste foram: 1º CP de 96 a 192; 2º CP de 96 a 168 e 3º CP de 102 a 144.

canal MSS	4	5	6	7
4	1.000	0.870	0.451	-0.097
5	0.870	1.000	0.419	-0.101
6	0.451	0.419	1.000	0.622
7	-0.097	-0.101	0.622	1.000

Tabela 6.2

Matriz dos coeficientes de correlação dos canais originais MSS-Landsat, do Baixo Vale do Rio Curaçã (época chuvosa)

Canal _{MSS}	4	5	6	7
4	57.830	89.647	38.025	-6.800
5	89.647	183.439	62.900	-12.658
6	38.025	62.900	122.959	63.694
7	-6.800	-12.658	63.694	85.163

Tabela 6.3

Matriz de covariância dos canais originais Landsat da época chuvosa.

canal _{MSS} CP	4	5	6	7
1ª	0.410	0.769	0.481	0.099
2ª	-0.170	-0.369	0.592	0.696
3ª	0.115	-0.360	0.619	-0.689
4ª	0.889	-0.379	-0.188	0.177

Tabela 6.4

Matriz de Auto-Vetores ou de Transformação, para os dados da Tabela 6.2

Componentes Principais	Auto-Valores	% informação
1ª CP	268.960	59.8
2ª CP	147.717	32.9
3ª CP	22.490	5.0
4ª CP	10.224	2.3

Tabela 6.5

Componentes Principais dos canais MSS-Landsat, do Baixo Vale do Curaçá, com as respectivas percentagens de informação.

Da Tabela 6.2, observa-se que os canais 4 e 5 são altamente correlacionados. A correlação entre as bandas do visível e do infravermelho é baixa. A correlação entre as bandas do infravermelho próximo não é muito elevada.

A diagonal principal da Tabela 6.3 mostra que os canais 4 e 5 apresentam a menor e a maior variabilidade, respectivamente. A variância total dos 4 canais é de 449.391.

Da análise dos valores de Auto-Vetores (Tabela 6.4), observa-se que o 1º Componente Principal recebeu uma contribuição maior do canal 5 e quase nenhuma contribuição da banda MSS 7. O 2º Componente Principal mostra intrinsecamente o contraste espectral das bandas visível e infravermelho próximo, sendo o canal 7 o que mais contribuiu para a informação deste componente. A Tabela 6.5 mostra que os 3 Componentes Principais, utilizados na Figura 6.5, contêm quase 98% da informação contida nos canais originais da época chuvosa.

A análise visual da Figura 6.5 demonstra cabalmente a importância da abordagem temporal com **imagens** MSS-Landsat, realçadas adequadamente na investigação geológica, particularmente na discriminação de unidades litológicas.

No caso da área-teste - Baixo Vale do Curaçá, as variações tonais conseguidas e que refletem informações geológicas importantes, são:

1) a definição marcante da Unidade "Oriental", ligada aos metamorfitos do Grupo Caraíba, não individualizada nos mapeamentos prévios. Em adição, o realce permite estabelecer relações de contato entre esta unidade e a TN Banguê adjacente a oeste, ligadas a um traçado escalonado, sugerindo forte expectativa da descontinuidade entre estas unidades se manifestar por sistemas de falhamentos;

2) a extensão em área e as relações de contatos entre as Unidades TN Banguê e RC Cachoeira, que são coincidentes com os tratamentos anteriores, indicando que mudanças de paisagem destes sítios provocando diferenças tonais, não descaracterizam as identidades espectrais destas unidades;

3) a Unidade TN Bogõ pode também ser discriminada das anteriores por variações de matizes, constituindo uma textura particular, distinta das 3 unidades descritas anteriormente;

4) a região dos metamorfitos dos Grupos Canudos e Macururé exi-

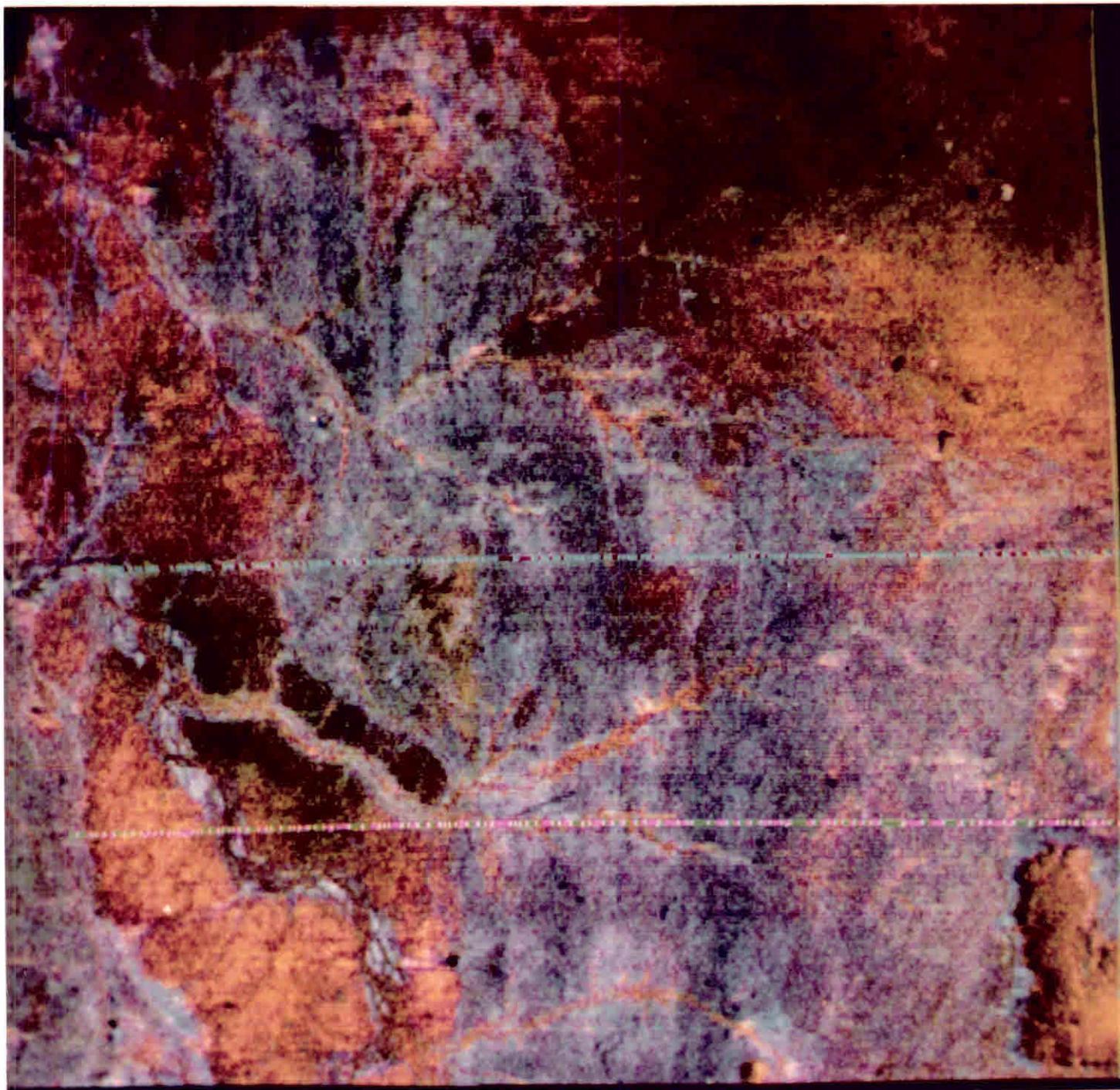


Figura 6.5

Componentes Principais da época chuvosa, dos canais Landsat do Baixo Vale do Rio Curaçá, BA.
Escala aproximada 1:150.000.

bem um matiz avermelhado-amarelado e em parte por nuances negras na cena. A não separação destas unidades e as variações tonais presentes, já foram discutidas nas imagens falsa-cor e "ratios" da época chuvosa.

Dos dados apresentados, conclui-se que sob diferentes condições, as imagens realçadas adequadamente por tratamento digital, forneceram informações valiosas, sobre as características superficiais da área - teste que, analisadas de modo integrado, permitem, dentro de um contexto de reconhecimento litológico, delimitações espaciais das principais unidades ou associações litológicas, cartografáveis na escala de semi-detalle.

Como consequência das discussões, fica evidenciada a importância da análise multitemporal, na discriminação litológica, com imagens MSS - Landsat, em especial de áreas com marcada sazonalidade climática.

CAPÍTULO 7

DADOS DE CAMPO E LABORATÓRIO

7.1 - Geologia

A partir da constatação de que a disposição espacial das unidades cartografadas previamente e os contrastes tonais, conseguidos nos vários produtos, envolviam grande coerência, a verificação de campo foi inicialmente direcionada, no sentido de esclarecer as causas e aspectos envolvidos nestas correlações, tendo-se em mente que as respostas registradas nas imagens, referem-se a interação energia/matéria, nos microns superiores do terreno. Como consequência, buscou-se em adição, o entendimento das discrepâncias à luz dos dois conjuntos de dados e da verdade de campo.

Para a faixa oriental da área, desprovida de uma maior densidade de informações prévias, o esquema de abordagem visou fundamentalmente, estabelecer relações entre as respostas realçadas e seu significado geológico.

Como aproximadamente 70% da área-teste dispusesse de pontos de observação, descritos no Projeto Cobre-Curaçã, tais dados foram muito utilizados, sendo que para evitar inconvenientes do constante manuseio de produtos em escala tão incompatíveis, quais sejam, as folhas de pontos na escala 1:25.000 (Folhas Pirajã, Fazenda Veneza, Riacho da Melancia, Riacho da Madeira e Quixaba) e as imagens realçadas em ampliações fotográficas 1:100.000, cada ponto com sua respectiva descrição litológica (transcrita dos volumes II-G, II-H e II-I, do citado Projeto), foi transportado para fotos aéreas da FAB (Força Aérea Brasileira), escala 1:70.000.

De posse deste conjunto de dados, as campanhas de campo foram realizadas, sendo visitada a maior parte dos pontos descritos pela CPRM. Para a faixa oriental, a verificação foi baseada em um mapa planimétrico, obtido das fotos aéreas e ajustado ao mapa do SGE (Serviço Geográfico do Exército), edição 1977, na escala 1:100.000, envolvendo observações nas principais vias de acesso e em cursos de drenagens. No mapa de observações de campo, mostrado no Apêndice I, são indicadas as localizações dos pontos de controle, utilizados na pesquisa. A baixa densidade de afloramentos na área, fez com que a verificação em muitos locais, se apoiasse na análise dos tipos litológicos, constituintes de blocos e fragmentos dispersos na superfície, um indicador indireto, nem sempre rigorosamente correto, na medida

em que os blocos mais quartzosos e, conseqüentemente, mais resistentes ao intemperismo, tendem a prevalecer nestas condições. Entretanto, face às circunstâncias, considerou-se tal sistemática como aplicável e, desta forma, com resultados válidos.

De modo geral, este aspecto de ausência de exposições é crítico para a Unidade TN Bogô e é atenuado para as Unidades TN Banguê e RC Cachoeira, onde ao longo de drenagens e em "inselbergs" e lajedos, podem ser encontrados afloramentos. Para a faixa de metamorfitos do Grupo Canudos, a ausência de exposição não chega a ser um empecilho e sim, a cobertura vegetal, como será visto posteriormente.

Em relação a análise microscópica, foram utilizados conjuntos de dados, provenientes de 3 fontes diferentes, totalizando 35 descrições :
 1) 11 descrições, transcritas do Volume II-1, do Projeto Cobre-Curaçã;
 2) 11 descrições realizadas nos laboratórios da Caraíba Metais S/A;
 3) 13 descrições efetuadas no Instituto de Geociências, da UFRJ.

Os dois últimos conjuntos perfazem 24 análises petrográficas inéditas, para o Baixo Vale do Curaçã.

A localização das amostras analisadas e seus constituintes mineralógicos, com as classificações litológicas correspondentes, são vistas respectivamente no Mapa da Figura 7.1 e na Tabela 7.1.

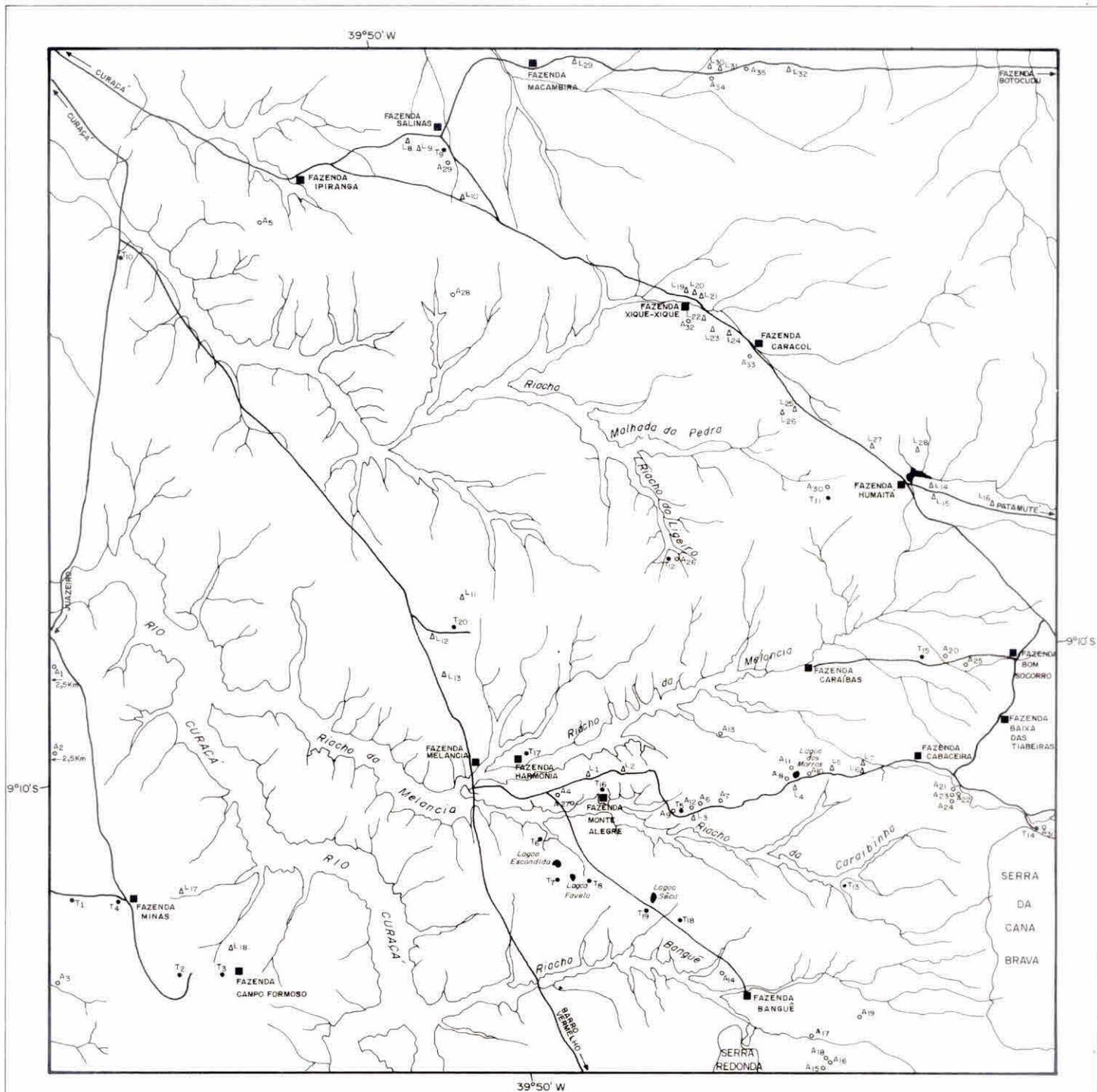
A área de ocorrência da Unidade Tanque Novo Bogô, caracterizada pela tonalidade magenta, na Figura 5.22, é tipificada por uma paisagem monótona, extremamente plana e arrasada, onde poucos afloramentos são encontrados, os quais constituem-se de pequenas exposições ao nível da superfície, de litologia alterada e comumente gerando produtos caulinizados.

Os solos da unidade são claros, com nuances cinzento-esbranquiçadas a branco-amareladas, de horizonte superficial areno-argiloso e com pequena participação de blocos de rochas e fragmentos quartzosos, dispostos comumente de modo caótico e bem esparso no pediplano arrasado.

O tipo litológico largamente predominante é um gnaisse quartzofeldspático leucocrático, normalmente branco, grosseiro a pegmatóide, de estrutura fracamente bandada a sacaroidal.

A foliação geralmente é dada por estiramentos de grãos de quartzo, embora em alguns locais uma participação de minerais máficos, notadamente biotita, acentue a foliação da rocha.

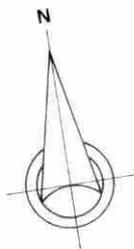
Os dados petrográficos levantados pela CPRM, para esta litologia, indicam rochas com textura granoblástica-xenoblástica e paragênese mineral



LOCALIZAÇÃO DE AMOSTRAGENS NA ÁREA

LEGENDA

- T_n TRINCHEIRA PARA OBSERVAÇÃO PEDOLÓGICA
- △ L_n LEVANTAMENTO DE COBERTURA VEGETAL
- A_n DESCRIÇÃO MICROSCÓPICA DE ROCHA
- FAZENDA
- ~ DRENAGEM
- ESTRADA, CAMINHO



1983



Figura 7.1

com quartzo, em cristais lenticulares, exibindo extinção ondulante e, frequentemente, com inclusões de microclina e plagioclásio; plagioclásio, de composição oligoclásio e menos comumente albita-oligoclásio, ocorrendo de modo subordinado, com intercrescimentos antipertíticos e, frequentemente saussuritizado; biotita, em escassas palhetas e em parte alterada para clorita; acessórios, representados por zircão, magnetita, sericita, titanita e apatita. Em alguns locais, tipos granatíferos são encontrados, aumentando sua incidência para oeste.

Efeitos de migmatização nas rochas da Unidade TN Bogô, foram notados em apenas alguns afloramentos, ao sul da Lagoa das Vacas, a aproximadamente 2 Km a oeste da Fazenda Minas, atestando um caráter mais excepcional para a Unidade na área analisada.

Intercalações concordantes de rochas cálcico-silicáticas, quartzitos ferruginosos e anfibolitos (mais raros), foram também observadas.

Normalmente, as rochas cálcico-silicáticas imprimem à paisagem um estilo peculiar, representado por afloramentos em morrotes alinhados, estruturando elevações lineares em cristas, onde, mobilizados mais leucocráticos, de composição quartzo-feldspática, grosseiros, associam-se a agregados escuros de minerais cálcico-silicatados, perfazendo estruturas diversificadas, desde maciças até notáveis gnaissificações. A erosão diferencial neste caso, produz como consequência, cristas e sulcos alternados e paralelos na superfície. Caracteristicamente, um cor castanha-amarelada associa-se com frequência a tais litologias.

Dados petrográficos disponíveis para estas rochas, indicam um caráter granoblástico, de composição mineralógica, constituída essencialmente de silicatos de cálcio - epidoto-zoisita, diopsídio, tremolita - actinolita, titanita e vesuvianita, além de quartzo e feldspato.

Algumas ocorrências de quartzitos ferruginosos foram observadas, sendo que chama a atenção pela magnitude, o corpo, com mais de 3 Km de extensão, localizado a oeste da Fazenda Campo Formoso.

De modo geral, tais corpos distinguem-se na paisagem, quer pelo solo marron avermelhado escuro, associado a grande incidência de blocos e fragmentos de rochas de natureza residual, quer pelos serrotes de cumieira arredondada, alinhados regionalmente.

Macroscopicamente, tais rochas são constituídas de quartzo, magnetita e hematita, com granulação grosseira e forte estruturação dada pelos arranjos sub-paralelos de grãos de quartzo. Microscopicamente, foi cons

tatada uma mineralogia essencialmente de quartzo, muito denteado, com forte extinção ondulante e, por vezes, estirados, e intercalações de massas de hematita, magnetita e pequenos cristais de anfibólio.

Alguns níveis de anfibolitos, ocorrendo na forma de camada e/ou lentes, intercalados nos gnaisses quartzo-feldspáticos regionais foram também notados, sendo que pelo fato de se alterarem com facilidade, geralmente não exibem grandes afloramentos ou saliências positivas no terreno. Tais corpos são diagnosticados pelo solo avermelhado a marron avermelhado, associado a blocos de pequenas dimensões, dispersos na superfície, de litologia grosseira escura, e composição dominada por anfibólio e plagioclásio.

A baixa densidade de cobertura vegetal e de afloramentos, e a baixa frequência de contribuição de blocos e fragmentos de rochas à superfície, indicam que as respostas detectadas pelo MSS-Landsat, são fundamentalmente controladas pelas características composicionais do nível superficial dos solos areno-argilosos da Unidade TN Bogó.

A região de ocorrência da Unidade Tanque Novo Banguê, é caracterizada por uma paisagem com maior quantidade de afloramentos que a anterior, representados por alguns "inselbergs" e lajedos gnáissicos e exposições ao longo de cursos de drenagem, maior presença de blocos e fragmentos de rochas à superfície (normalmente de pequenas dimensões, com arestas angulosas) e solos mais acinzentados, esculpidos em pediplanos de ondulações suaves (Figura 7.2) e não tão arrasados quanto aos da Unidade TN Bogó.

Se considerarmos as nuances azul escuro-cian, da Figura 5.22, como representativas da disposição espacial da Unidade TN Banguê, os dados de campo e petrográficos obtidos, permitem subdividir a unidade em dois domínios, separados pela faixa esbranquiçada meridiana dos migmatitos RC Cachoeira.

Ao domínio ocidental, estaria associada uma predominância de gnaisses cinzentos, conspicuamente bandados, representados por biotita-hornblenda gnaisses e subordinadamente, biotita-gnaisses, de composição modal granodiorítica (Streckeisen, 1976). Nestas rochas, as listras escuras são normalmente constituídas de hornblenda e biotita, ou caracterizadas pela presença marcante de um destes minerais, comumente hornblenda, ao passo que às faixas leucocráticas, associam-se composições quartzo-feldspáticas.

Ao microscópio, estes biotita-hornblenda gnaisses mostram texturas, xenoblásticas, lepidoblásticas ou cataclásticas, com foliação definida por grãos estirados de quartzo, orientação das palhetas das biotitas e alter



Figura 7.2

Paisagem da Unidade Tanque Novo Banguê, caracterizada por pediplano de ondulação suave.

nância de níveis de minerais máficos/félsicos. A mineralogia representativa seria: quartzo bastante fraturado, com extinção ondulante, denotando cataclase; plagioclásio, mineral que ocorre predominantemente; microclina, biotita, hornblenda e acessórios, constituídos por clorita, apatita, zircão e opacos.

Em alguns locais, evidências de migmatização foram constatadas, como entre as Lagoas da Favela e da Escondida, onde migmatitos cinza-escuros, de estruturas estromáticas e dobras ptigmáticas sustentam lajedos reduzidos, em meio a solos cinzentos escuros.

Um aspecto é marcante neste sub-domínio ocidental, representado pela presença de corpos de metabasitos, constituindo intercalações extremamente frequentes em toda área da unidade discutida. Tais corpos exibem dimensões diversificadas, desde pequenas lentes métricas, até dimensões na ordem de poucas centenas de metros de extensão, dispostos concordantemente à estruturação regional N-S das foliações gnáissicas.

A localização de tais corpos no campo é possível, pelas faixas de

solos cinzentos escuros, cinza amarronzado a marron avermelhado, onde fragmentos autóctones e produtos residuais são encontrados, incluindo anfibólitos predominantemente, gabros-noritos, piroxenitos a piroxenitos serpentinizados e metabasitos.

Em alguns locais, intercalações de gnaisses mais fêlsicos, atingindo dimensões de até algumas dezenas de metros de extensão, de granulação média a grosseira, foram observados. Estes tipos fornecem solos mais claros, mais arenosos, de nuances amarelo-esbranquiçadas, dando manchas descontínuas, em meio ao solo cinzento dos biotita-hornblenda gnaisses predominantes.

Os gnaisses fêlsicos são geralmente foliados, com bandamento dado por alternância de máficos/fêlsicos ou níveis de quartzo e plagioclásio. As relações de contato com os biotita-hornblenda gnaisses, não são facilmente constatadas, porém com as bruscas mudanças de solos envolvidas, presume-se que descontinuidades litológicas bruscas definam o contato. A mineralogia destas rochas, segundo dados de Delgado e Souza (1975), incluiria uma paragênese a partir de: quartzo, em cristais xenoblásticos, normalmente estirados, invariavelmente com extinção ondulante; plagioclásio, normalmente alterado para sericita e carbonato e do tipo oligoclásio; microclina, geralmente subordinada ao plagioclásio, aparecendo individualmente ou em forma pertítica e transformado com frequência em caulim; máficos, presentes em diminutas parcelas, sendo biotita o mais comum e como acessórios; óxidos de ferro, apatita, epidoto, zoisita, clorita, sericita e zircão.

Outros tipos litológicos constatados com certa frequência, são corpos de rochas cálcico-silicatadas e, mais raramente, faixas de quartzito ferruginoso. Em ambos os casos, a estruturação destes corpos é concordante com o padrão direcional N-S da gnaissificação regional. As mesmas características superficiais e mineralógicas, discutidas para estas litologias, na Unidade TN Bogó, podem ser aplicadas para estes corpos, no sub-domínio discutido.

Para leste, o domínio oriental, representado pela tonalidade azulada intensa, disposta numa faixa segundo N-S, na Figura 5.22, marca a predominância de tipos mais granulitizados, apresentados em afloramentos e em fragmentos e blocos à superfície, por rochas de coloração cinza esverdeada e subordinadamente cinza escura, de estrutura foliada, granulação média a grosseira e composição a partir de plagioclásio, quartzo, ortopiroxênio, mi-

croclina e quantidades variáveis de biotita.

Este domínio, com proeminência marcante destes ortopiroxênio gnaisses ou gnaisses charnoquíticos, já tinha sido em parte mencionado em 1972, nos resultados dos trabalhos da Missão Geológica Alemã/SUDENE, quando é enfatizada a presença de uma "... variedade de gnaisses com ortopiroxênio e oligoclásio que afloram a leste de Banguê, encerrando em uma textura granoblástica de quartzo, oligoclásio e microclina, inclusões isoladas e agrupadas de ortopiroxênio, algum clinopiroxênio, bastante biotita, minerais opacos e apatita."

Os dados de campo obtidos mostram que esta caracterização deve ser estendida rumo ao norte, indicando variedades petrográficas, abrangendo gnaisses a hiperstênio, com composições modais granodiorítica (charnoenderbita); tonalítica (enderbita), quartzo-diorítica e diorítica, segundo a classificação de Streckeisen (1974, 1976); denotando uma afinidade mais infracrustal para esta borda da Unidade TN Banguê.

Também a presença de metabasitos é elevada nesta faixa, representados por inúmeras lentes, provocando depressões elípticas rasas, de solos cinzentos, alongadas segundo a estruturação regional N-S a NNE, da foliação dos gnaisses a hiperstênio e bem visível no trecho Fazenda Monte Alegre para Lagoa dos Morros. Tais corpos apresentam composições variadas, de gabro-noritos a piroxenitos.

A menor incidência de rochas cálcico-silicáticas e a ausência de corpos de quartzito ferruginoso, em relação ao domínio ocidental e à Unidade TN Bogô, é também concernente com uma afinidade mais infracrustal para esta faixa.

Um outro aspecto que desperta atenção, reside na constatação de evidências de uma intensa cataclase, manifestada principalmente nos dois domínios da Unidade TN Banguê, responsável pelas texturas cataclásticas e intenso fraturamento observado em afloramentos e blocos à superfície (normalmente angulosos, de arestas cortantes, vértices poteagudos e minerais estirados) e confirmada, em maior ou menor intensidade, nas amostras ao microscópio.

Estes efeitos de cataclase atingem sua proeminência na região sul deste domínio oriental, onde inúmeros lajedos de cataclasitos ácidos, associados a solos arenosos líticos, extremamente quartzosos, são responsáveis, respectivamente, pelas manchas isoladas em magenta, no interior

da auréola esbranquiçada, da Figura 5.8, que circunda o corpo sienítico da Serra Redonda.

Nesta área, ao longo do Riacho do Banguê, são comuns tipos litológicos, bastante caulinizados, onde remanescentes de piroxênio e/ou anfíbólio podem ser observados. Pouco ao norte, ainda dentro da faixa esbranquiçada, seguindo a estrada Fazenda Riacho do Banguê para Lagoa Seca, tajedos de cataclasitos ácidos, originados a partir de gnaisses a plagioclásio, quartzo, piroxênio e anfíbólio, são constatados e indicam a imposição nas encaixantes gnáissicas de efeitos de cataclase intensa.

Já para o sul, dentro da mesma paisagem, em direção à Fazenda Serra Redonda, fora da área de estudo, são encontrados tajedos e afloramentos de gnaisses porfiroblásticos, bordejando o lado oriental da Serra Redonda, destacando-se os biotita-augen-gnaisses grosseiros e cinzentos e uma variedade esverdeada, com porfiroblastos de microclina rósea, classificados por Delgado e Souza (1975), como anfíbólio-oftalmitos.

Segundo estes autores, tais rochas teriam se formado por ação de metassomatismo alcalino potássico, perimagmático, vinculado diretamente à intrusão sienítica, de contatos geralmente brusco com o sienito gnáissico, acompanhado por faixas de cataclasitos que atingem dezenas de metros.

À luz dos dados disponíveis, pode-se aventar como uma hipótese plausível, que a faixa esbranquiçada da Figura 5.8, bordejando a Serra Redonda e caracterizada pela presença de cataclasitos ácidos e gnaisses porfiroblásticos, esteja ligada a efeitos da ação tectônica e metassomática respectivamente, vinculado à intrusão sienítica, afetada posteriormente por movimentação de blocos associados aos falhamentos dispostos, principalmente segundo NW-SE.

Tanto para a faixa azulada de granulitos, como para a área esbranquiçada de cataclasitos ácidos da Figura 5.8, as respostas espectrais detectadas, refletem basicamente características superficiais, de solos argilo-arenosos acinzentados claros e arenosos líticos brancos, diretamente correlacionados ao substrato litológico.

O extremo leste do Baixo Vale do Curaçã, é indicado no mapa geológico de Jordan (1968), como domínio de gnaisses e migmatitos, senso amplo. Tal área apresenta-se com a tonalidade esverdeada, na imagem da Figura 5.8, que mescla-se com os tons azulados da faixa dos granulitos, sugerindo contatos gradacionais, ou relações de contatos mais bruscos, a

partir dos realces de imagens da época chuvosa da Figura 6.1 e 6.5 (borda oriental das imagens).

Os dados de campo e microscopia obtidos para esta faixa, indicam a presença de associações de rochas com predominância gnáissica (facies do anfibólito e retrogradações ao xisto-verde), que a leste da Serra Redonda, adjacente à região de cataclasitos, são representados por biotita-gnaisses leucocráticos, normalmente foliados, com textura algo cataclástica e plagioclásio antipertítico, predominando sobre a microclina. Tremolita é comum nestas rochas. Efeitos de granulitização de caráter subordinado e intercalações de piroxenitos e piroxenitos serpentinizados, foram observados nas cabeceiras do Riacho do Banguê.

Ao norte desta região, numa área de anomalia em magenta, destacada no realce da Figura 5.8, são vistos, em uma paisagem definida por caatinga rala e extensos lajedos e "inselbergs" associados a solos arenosos cinza claros (Figura 7.3), afloramentos de gnaisses bandados a quartzo, feldspato, anfibólito, biotita, com veios de pegmatitos, em parte migmatizados e intercalações de faixas estreitas de gnaisses cálcico-silicatados e rochas ultramáficas serpentinizadas. Em alguns locais, especialmente na zona sul desta faixa magenta, efeitos de granulitização são observados, responsáveis pela presença de granulitos félsicos.

A característica tonal magenta, na imagem da Figura 5.8, a NE da Serra Redonda, é interpretada aqui como sendo ligada às condições superficiais da região, tipificada pela grande densidade de lajedos extensos e "inselbergs" de gnaisses cataclásticos e migmatitos, associados a faixas de pegmatitos.

A continuidade norte desta faixa oriental esverdeada (Figura 5.8), mostra solos areno-argilosos amarelados a cinzento - esbranquiçados, com vegetação em bosques, i. e, constituindo concentrações de tipos vegetais em manchas, separadas por áreas de exposição de solos com caatinga rala, relevo ondulado e tipos litológicos, fornecendo blocos à superfície e afloramentos em drenagens.

Nas cabeceiras do Riacho Caraibinha foram observados gnaisses, com bandamento dado por faixas félsicas quartzo-feldspáticas e máficas com anfibólito e biotita. No conjunto, o gnaissite exibe características leucocráticas. A foliação é notável, disposta segundo N60E, sub-vertical.

Mais ao norte, ainda dentro desta mesma unidade gnáissica, são constatados efeitos de migmatização subordinada (Figura 7.4), na região

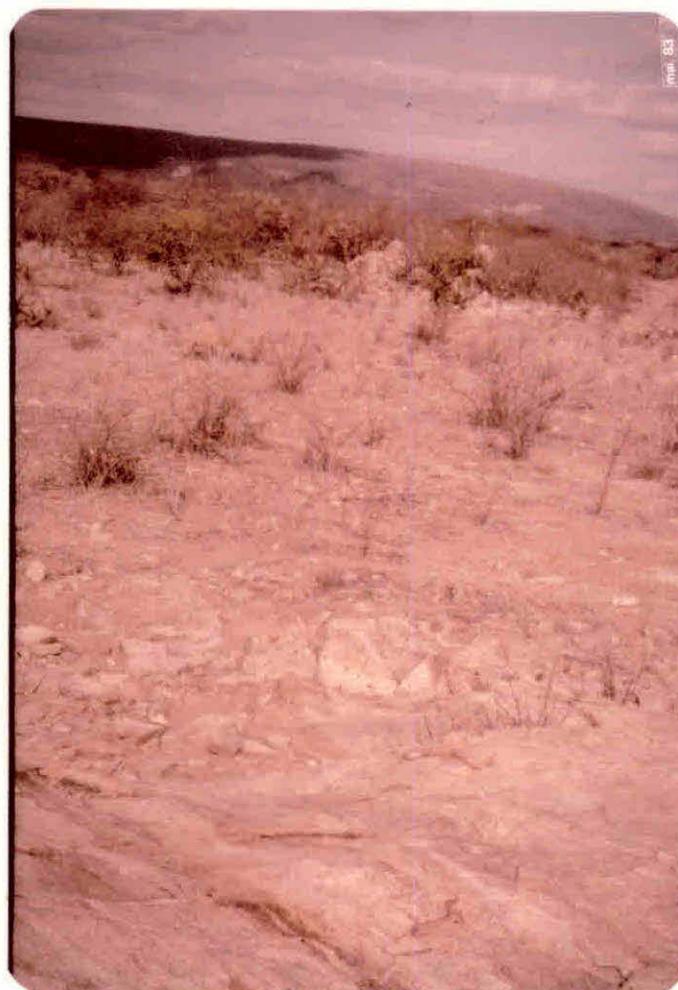


Figura 7.3

Lajedos e "inselbergs" que ocorrem a NE da Serra Redonda e, ao fundo, a Serra da Cana Brava. Esta área se apresenta com um padrão de reflectância anômalo, nas imagens realçadas, dentro da Unidade de biotita - gnaisses / quartzo-feldspato-gnaisses, da borda oriental da área de estudo.

da Baixa das Tiabeiras ou retomando seu caráter gnáissico quartzo-feldspático, na área de Bom Socorro e fazenda Caraíba, cuja análise petrográfica atesta a presença de um quartzo-feldspato gnaisses, de composição modal granodiorítica, segundo Streckeisen (1976).

Um aspecto interessante associado aos sítios desta unidade, refere-se aos corpos de metabasitos que ela encerra. Normalmente, são corpos de menor frequência de ocorrência, que os da faixa azulada TN Banguê

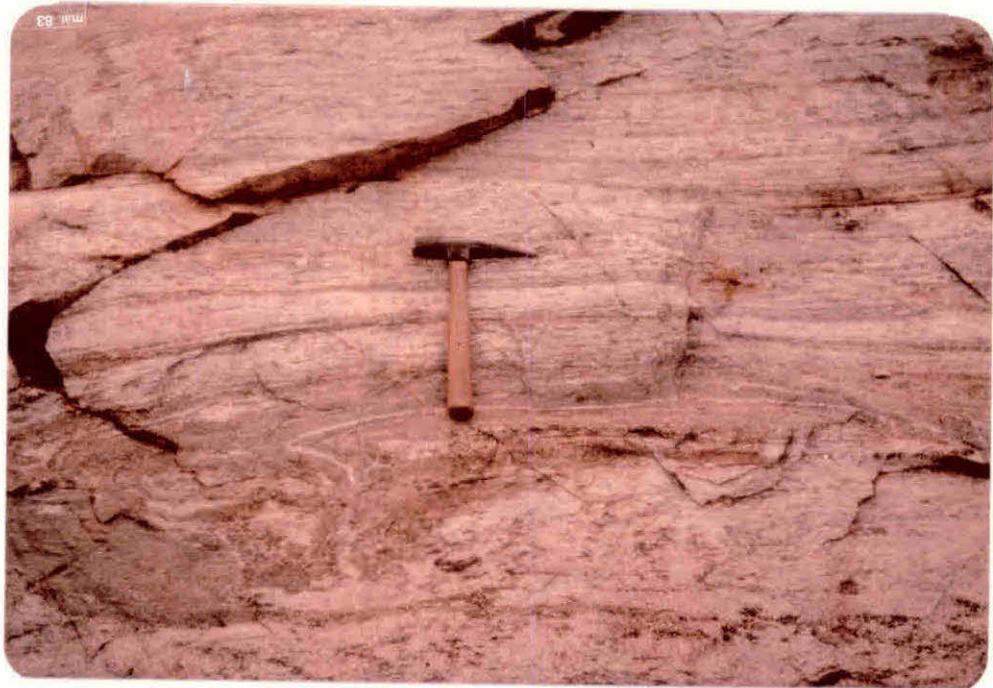


Figura 7.4

Afloramento de migmatitos na região da Baixa das Tiabeiras, borda oriental da área de estudo (Unidade de gnaisses quartzo-feldspáticos / biotita-gnaisses).

adjacente, da Figura 5.8. Porém, são corpos de muito maior magnitude, vistos no campo como faixas zonadas, bastante nítidas, onde solos argilosos avermelhados, normalmente associam-se a blocos de anfibolitos e, subordinadamente, gabros/noritos e solos acinzentados, mostram blocos dispersos e afloramentos de piroxenitos a serpentinitos.

Amostras coletadas em parte do basito, a leste da Fazenda Cabeceira e analisadas junto à Caraíba Metais S/A, indicaram diferenciações a hornblenditos, clinopiroxenitos, gabros-noritos e serpentinitos. Para

norte, no grande corpo metaígneo a oeste de Bom Socorro, ultramafitos serpentinizados (peridotitos?) também foram constatados.

Dados mais recentes obtidos pela equipe da Caraíba Metais S/A, para o grande corpo metaígneo da Fazenda Cabaceira, indicam diferenciados de dunitos a anortositos (J. A. C. Moraes, comunicação pessoal). Tais litologias, denotariam um caráter singular, para associações metaígneas na área, quando comparadas com os tipos comuns no Médio e Alto Curaçá, onde diferenciados a dunitos/peridotitos e anortositos, e de tão grande porte, não são tão comuns.

Baseados nos dados atualmente disponíveis, as diferenças tonais entre as faixas azuladas e esverdeadas adjacentes, na Figura 5.8, refletem associações litológicas distintas, representadas a oeste por gnaisses a hiperstênio predominantemente, e a leste, por associação de gnaisses quartzo-feldspáticos e biotita-gnaisses, em alguns locais biotita-hornblenda-gnaisses, com migmatizações e granulitizações subordinadas.

A possibilidade desta faixa gnáissica oriental, disposta a oeste da Serra da Cana Brava e com basitos diferenciados a piroxenitos/dunitos serpentinizados, até termos anortosíticos, vincular-se espacialmente com o ambiente gnáissico-granítico do Itapecuru, deve ser considerada em futuros trabalhos, porém, na atual fase de conhecimento, tal hipótese deve se restringir a um contexto de concepções ainda especulativas, pela carência de dados.

Os realces tonais nesta faixa, pela baixa densidade de exposições rochosas, deve corresponder prioritariamente a influência dos solos e, secundariamente, a efeitos da cobertura de caatinga em bosques. Ainda dentro deste contexto, a diminuição da frequência de ocorrência de corpos de metabasitos, nesta unidade gnáissica oriental, quando comparada com a faixa de ortopiroxênio-gnaisses a oeste, deve obrigatoriamente ter uma grande influência nas discrepâncias espectrais, detectadas para as duas unidades.

As relações de contato entre estas duas unidades, não foram esclarecidas no terreno, sendo porém observadas, tanto nos produtos realçados (Figura 6.1 e 6.5), quanto na análise estereoscópica com fotografias aéreas, relações de descontinuidades que indicam contatos falhados, segundo a tendência geral de foliação NS a NNE, com truncamentos posteriores por sistemas orientados, segundo NW, responsáveis pelo aspecto escalonado em blocos, vistos nas imagens de satélite.



Figura 7.5

Paisagem típica da Unidade Migmatítica RC Cachoeira. Notar as diferenças com a Figura 7.2.

Em relação a Unidade RC Cachoeira, suas áreas de ocorrência, no Mapa de Delgado e Souza (1975), quando confrontadas com os padrões espectrais realçados na Figura 5.22, sã tendem a exibir discrepâncias no maior prolongamento de sua borda ocidental.

O limite oriental da Unidade RC Cachoeira, interpretado como envolvendo relações de contato por falhamento com TN Banguê, por Delgado e Souza (op. cit.), é marcado no campo por um brusco contato de solos com coloração acinzentada a leste e amarelada clara a oeste, 2 Km antes da Fazenda Monte Alegre, vindo da Lagoa dos Morros.

Esta característica de coloração amarelada clara, para a Unidade migmatítica, se mantém com menor incidência de blocos e fragmentos de rocha que a Unidade TN Banguê, compensada agora por uma maior frequência de fragmentos e seixos angulosos de quartzo, em uma paisagem tipificada por colinas de pequena amplitude e maior ravinamento, denotando processos de maior entalhamento dos cursos de drenagens (Figura 7.5).

O tipo litológico predominante na unidade é um migmatito a hornblenda e biotita com estruturas "stromatic", "folded" e "schlieren", de coloração cinzento a róseo, imposto por leucossoma pobre ou rico, em microclina, respectivamente.

Ao microscópio, tais migmatitos apresentam textura xenoblástica e menos comumente cataclástica, com boa foliação conferida pela orientação preferencial de minerais de quartzo e pela segregação imperfeita das palhetas de biotita e prismas de hornblenda. Sua paragênese mineral incluiria: plagioclásio, mineral abundante, normalmente da faixa do oligoclásio e mais raramente tipo albita-oligoclásio e andesina; quartzo, quase sempre fraturado e com extinção ondulante; microclina, frequentemente pertítica, podendo estar ausente, e biotita e hornblenda, como os máficos mais importantes. Como acessórios, a magnetita apresenta-se comumente alterada, em parte para hematita e leucoxênio, e pode tornar-se relativamente abundante. Zircão, e mais raramente apatita, epidoto, clorita, tremolita-actinolita, são observados.

Em locais de feldspatização potássica, são comuns migmatitos nebulíticos, gradando a até típicos granitos a microclina, denotando produtos de anatexia. Pequenos corpos de granitos róseos e adamelitos cinzentos são também encontrados nesta unidade migmatítica.

O contato ocidental da Unidade RC Cachoeira com TN Banguê, correspondente a descontinuidade azulada e magenta-esbranquiçada da Figura 5.22, é marcado no campo pelo mesmo padrão de diferenças bruscas de cores de solos, vistos na borda oriental, com blastomilonitos, filonitos e silificação, denotando zona de falha no contato (Figuras 7.6 e 7.7). A aproximadamente 200 metros do contato, na Unidade TN Banguê, afloram gnaisses bandados a hornblenda e biotita, em paisagem de solos acinzentados. A relação de contato se completa quando, a 400 metros do contato, na Unidade RC Cachoeira, são encontrados migmatitos, com estruturas "folded" e "schlieren", associados aos solos amarelados, na Fazenda Monte Alegre (Figuras 7.8 e 7.9, respectivamente).

As faixas alongadas segundo N-S, dentro dos sítios mapeados previamente como pertencentes a Unidade TN Banguê, são vistas a leste do Serrote da Melancia, com padrões tonais, na Figura 5.22, similares as áreas RC Cachoeira.

Os dados de campo indicam para a borda oriental da "elipse maior", a N e NW da Lagoa Escondida, presença de migmatitos a quartzo -

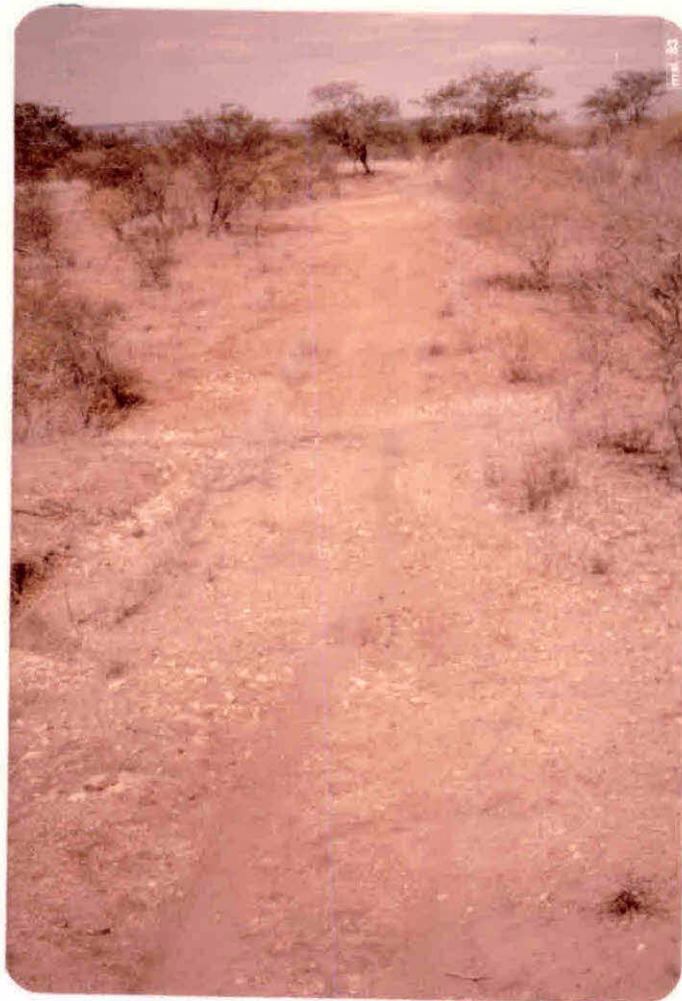


Figura 7.6

Contato ocidental da Unidade RC Cachoeira (solo amarelado) com TN Banguê (solo acinzentado). Ponto situado no trecho Fazenda Melancia - Fazenda Monte Alegre, a 500 metros desta última.

feldspato-biotita e anfibólito com núcleos graníticos acinzentados. Próximo a Fazenda Harmonia, aparecem dentro do Riacho Melancia, gnaisses anfibolíticos, intercalados com gnaisses quartzo-feldspáticos, com veios de pegmatitos granítico a microclina. Dentro da área da Fazenda Harmonia, num furo para descrição pedológica, constatou-se rocha foliada bastante alterada, com lente anfibolítica intercalada. Finalmente, para a borda NW da faixa, no tributário direito do riacho dos Angicos, são vistos migmatitos a quartzo-plagioclásio-microclina e biotita, e gnaisses migmatíticos, em avançado processo de granitização.

Embora as relações geológicas não estejam bem definidas, face



Figura 7.7

Silicificação, milonitização e presença de filonitos verticais, atestando falhamento na zona de contato entre RC Cachoeira/TN Banguê, da Figura anterior. Ponto situado a 500 metros da Fazenda Monte Alegre.

a influência de cobertura de elúvios arenosos na área e a carência de bons afloramentos, os dados obtidos convergem para uma interpretação condizente com a presença de migmatizações com núcleos graníticos na área com solos areno-argilosos amarelados e com pavimento de seixos angulosos e arredondados.

Para a área de tonalidade magenta, ao sul do Serrote da Salina, a precariedade de acesso e a ausência de bons afloramentos, não permitiram estabelecer relações entre os corpos gnáissico-graníticos ali encontrados, com a Unidade de biotita-hornblenda gnaiss TN Banguê.

As áreas de ocorrência dos mármore/calcários metamórficos do

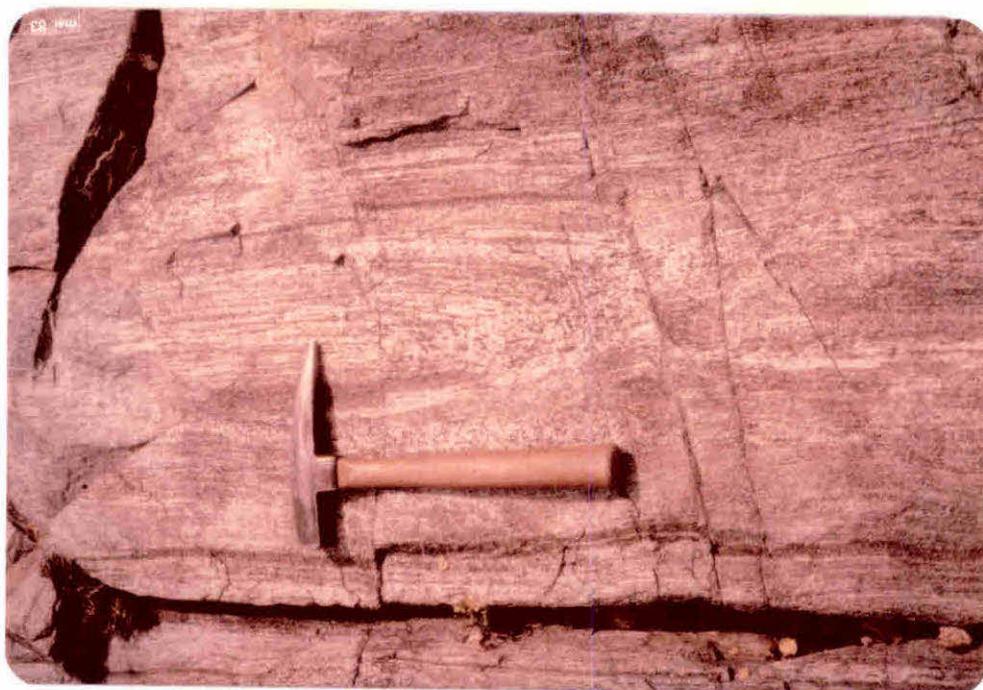


Figura 7.8

Biotita-hornblenda-gnaiss t pico de TN Banguê. Afloramento a 200 metros do contato nas Figuras 7.6 e 7.7.



Figura 7.9

Migmatito RC Cachoeira com estrutura "schlieren e folded". Afloramento a 400 metros do contato nas Figuras 7.6 e 7.7.

Grupo Canudos, na Figura 5.8, estão associadas a solos normalmente avermelhados a amarelados com nuances amarronzadas, onde uma cobertura esparsa de grânulos de quartzo esbranquiçado/avermelhado, associados com pequenos blocos de rocha angulosos, são constatados (Figura 7.10). Em outros locais, como na faixa ocidental do Serrote da Salina, extensos lajedos estão presentes, onde tipos listrados com bandas cinza e branca predominam.

A distribuição espacial da unidade condiciona-se ao nível de erosão e à configuração estrutural variada do embasamento "Caraíba", compondo, ou as bordas de uma suposta estrutura sinclinal, coberta por mica-xistos na faixa balizada pelo Rio Curaçá e seu tributário Melancia, ou estruturada em pequenas sinformas e antiformas, nos Serrotes da Melancia e da Salina (Delgado e Souza, 1975).

O tipo litológico apresenta certa diversificação e ocorre, quer como rochas listradas, com listras claras e escuras, denotando dobramentos, quer como calcários metamórficos uniformes, de cores creme, róseo, avermelhado, cinza, até negros. Intercalações de metarcósios e filitos são vistas, o último normalmente ocorrendo próximo aos contatos com a sequência filítica/mica-xisto superior, em configuração de contatos gradacionais. Em outros locais, este contato se dá por falhamentos, como o observado a leste da Fazenda Ipiranga.

As relações de contato na superfície entre os mármorees / calcários metamórficos com os gnaisses, normalmente se dão por grande contraste tonal entre solos avermelhados de calcário e cinzento dos gnaisses (Figura 7.11), além da maior densidade de cobertura vegetal no mármore/calcário.

Na região do Serrote da Salina, os tons negros da Figura 5.8, relacionam-se com lajedos de mármorees de superfície negra, enquanto que no Serrote da Melancia, a cor negra está associada primariamente às placas cinzentas de calcário Caatinga, não individualizado no Projeto Cobre-Curaçá, mas caracterizado nos trabalhos da Missão Geológica Alemã e, secundariamente, à vegetação fechada, sem folhas, associada a esta unidade.

Desta forma, as características tonais da unidade com padrões diversificados em amarelo, magenta, vermelho e negro (Figura 5.8), irão refletir a participação diferenciada na superfície, de exposição de solos, lajedos claros, vegetação com folhagem verde e lajedos cinzas e negros, com ou sem vegetação caducifólia, respectivamente.



Figura 7.10

Aspecto da superfície representativa da unidade mármore/
calcário, do Grupo Canudos (GCmc)



Figura 7.11

Contato entre as unidades calcário/mármore (GCmc) com gnaiss (TN Banguê).
O solo avermelhado corresponde ao calcário e o acinzentado ao biotita-horn-
blenda gnaiss. Borda ocidental do Serrote da Salina.



Figura 7.12

Blocos de mica-xistos e calhaus de quartzo ferruginosos da Unidade GCfx, a oeste da Fazenda Ipiranga.

Dois padrões tonais fortemente contrastantes e influenciados pela cobertura vegetal, definem as áreas de ocorrências dos pacotes de mica-xistos e filitos do Grupo Canudos, na área-teste.

As áreas negras da Figura 5.8 ou as suas variações de cinza na Figura 5.7, mostram a extensão de solos com características superficiais peculiares: são sempre de coloração ocre a amarronzada escura, argilosos e estão normalmente cobertos por uma camada de cascalhos angulosos de quartzo, normalmente tingidos por óxidos de ferro, cuja proporção pode variar, como também varia a participação e dimensão dos fragmentos de rochas (Figura 7.12).

Associada a este substrato, ocorre uma cobertura vegetal de catinga, cuja densidade e estratificação, irão variar na área (Figura 7.13) A integração destes dois fatores, quais sejam, a baixa resposta espectral associada a este solo com cobertura de seixos ferruginosos e blocos de



Figura 7.13

Cobertura de caatinga na Unidade GCfx, estrada Fazenda Melancia para Curaçã.

rochas escuras, e a atenuação natural da reflectância do substrato causada pelos ramos e galhos secos da vegetação, explicam convenientemente os padrões tonais de baixa resposta para as áreas de mica-xistos do Grupo Canudos. Como consequência, a conclusão é válida também para a faixa dos metamorfitos de mais alto grau do Grupo Macururê (GMxg) e para o topo da Serra da Cana Brava, onde uma vegetação densa se associa a lajedos, superficialmente cinzentos, de calcários metamórficos.

Um segundo padrão tonal bem marcante nestas imagens, é representado pela nuance esverdeado-amarelada, na Figura 5.8, ou esverdeado-cian, da Figura 5.22, correspondendo espacialmente à ocorrência da faixa

filítica, bordejando a Serra da Cana Brava; a uma área triangular na Unidade GCfx, a SW de Humaitã, não individualizada nos mapas da MGA-SUDENE e a área mapeada como GCfx, pela CPRM, no Serrote da Salina.

Os dados petrográficos disponíveis para estes sítios, indicam filitos no Serrote da Salina; filitos carbonáticos na região SW da Fazenda Humaitã, e filitos/xistos para a borda da Serra da Cana Brava.

Estes locais são tipificados por uma paisagem comum, i. e, plana e muito arrasada, com caatinga extremamente rala a ausente e solos amarelados claros, apresentando pequenas plaquetas de material micáceo à superfície.

Para nordeste das regiões discutidas e ainda dentro da Unidade GMfx, os dados de campo e de microscopia atestam a presença de litologias mais xistosas, abrangendo variações de xistos carbonáticos a mica-xistos. Nesta área, não é somente o substrato litológico que passa a variar, mas também as características superficiais, representadas por uma cobertura vegetal heterogênea e mais densa, associada com solos avermelhados, ricos em calhaus de quartzo e blocos de rocha.

Para o extremo nordeste da área, é ainda mais acentuado o aumento do metamorfismo, sendo constatados xistos grosseiros, xistos granatíferos e gnaisses de baixo grau, na estrada da Fazenda Macambira-Fazenda Botocudo, situada poucos quilômetros do limite norte da área-teste, dentro da Unidade GMxg.

Tais dados são bem condizentes com as conclusões de Jordan (1968), referentes a um aumento gradativo de condições metamórficas, em direção ao centro do proposto "Sinclinório do Curaçá" (variação do sub-facies quartzo-albita-muscovita-clorita, até quartzo-albita-epidoto-almandina, facies xisto-verde de Turner e Verhoogen, 1960).

Na região cartografada como pertencente ao Grupo Macururê, a cobertura vegetal passa a ser mais densa, homogênea, acompanhada por um recobrimento maior de blocos de rochas e calhaus de quartzo, do que o observado na faixa GCfx adjacente.

Em síntese, as diferenças tonais registradas para a região nordeste da área de pesquisa, correspondentes aos Grupos Canudos e Macururê, ligam-se a diferenças de densidade de cobertura vegetal, bem como a variações dos tipos da cobertura dos solos por seixos e fragmentos de rochas.

Especialmente, estas variações superficiais são acompanhadas por diferenças do substrato, vinculadas a mudanças de condições metamórfi

cas, desconhecendo-se quais os fatores que ditam este processo de inter-relacionamento, na associação "rocha + solo + vegetação".

A impossibilidade de acesso impediu a caracterização do contato GCfx/GMxg, no nordeste da área de estudo. Pelas relações tonais das imagens e, principalmente, pelos lineamentos observados em fotos aéreas, é aqui sugerida uma relação de contato, desenvolvida através de falhamentos.

7.2 - Pedologia

7.2.1 - Considerações Gerais

Com o intuito de se analisar as relações cobertura de solos/substrato litológico e fornecer subsídios à caracterização geológica das unidades realçadas nos tratamentos digitais, um programa de abertura de trincheiras e descrições de perfis pedológicos, foi também realizado.

A localização destas trincheiras foi dirigida pelas isotonalidades ou domínios de nuances, presentes nas Figuras 5.8 e 5.22. Na Figura 7.1, são indicadas as localizações das trincheiras de caracterização pedológica, referenciadas a seguir no texto pela notação Tn.

Genericamente, na área de estudo, 5 grandes grupos de solos são reconhecidos, que por ordem decrescente de representatividade, seriam: Bruno Não Cálculos, Planossolos, Latossolos, Litólicos/Cambissolos Litólicos e Vertissolos.

À exceção dos Latossolos que exibem uma profundidade razoável, os solos do Baixo Vale do Curaçá são tipificados pela pouca espessura, da ordem de 60 cm. Pelo contrário, a alteração do substrato litológico, independente de sua natureza, é intensa, com uma alteração caracteristicamente isovolúmica e relativamente friável.

Em superfície, a presença de concreções de ferro e manganês é comum, sendo também observado em vários locais, a ocorrência de pavimentos de seixos ou calhaus de quartzo ferruginizados e calhaus e cascalhos de rochas ferruginizadas, oriundos de alterações "in loco", de litologias.

A seguir, são discutidas as principais características dos tipos de solos presentes, cujas análises físico-químicas dos horizontes caracterizados no campo, são apresentadas no Apêndice II.

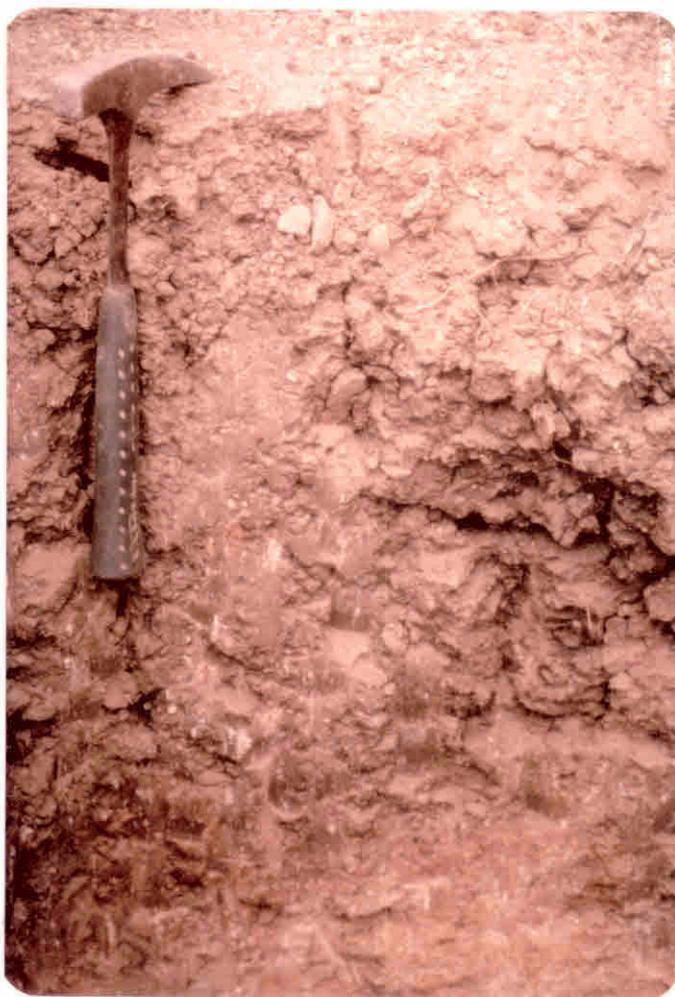


Figura 7.14

Perfil de um Bruno Não Cálxico Vértico sobre hiperstênio-gnaíse (Unidade Tanque Novo Banguê). Estrada Fazenda Monte Alegre/Fazenda Cabaceiras (Trincheira T5).

a) Bruno Não Cálxicos

Distribuem-se em áreas de ocorrência dos metamorfitos das Unidades Tanque Novo Banguê e Rio Curaçã Cachoeira.

Compreendem solos rasos ou pouco profundos, com perfis bem diferenciados, normalmente de sequência A, B e C e espessura A + B, na ordem de 50 cm, em média (Figuras 7.14 e 7.15).

O horizonte A é pouco espesso, em média com 20 cm de espessura, textura franco-arenosa a franco-argilo-arenosa, estrutura em blocos subangulares ou granular maciça, média ou fracamente desenvolvida, com consistência de fragil a duro (seco) e muito frágil (úmido). A porosidade é

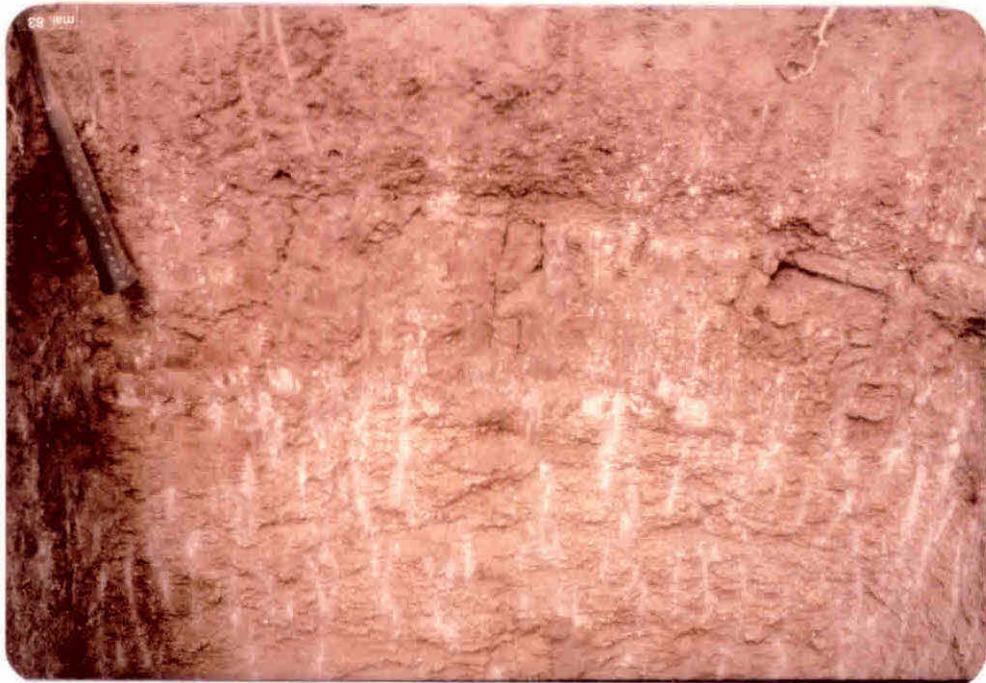


Figura 7.15

Perfil de um Bruno Não Cálculo Planossólico Ligeiramente Vértico desenvolvido sobre migmatitos a biotita (Unidade RC Cachoeira). Fazenda Monte Alegre.

dada por muitos poros, muito pequenos, não plásticos e não pegajoso. A transição para o B é abrupta e ligeiramente ondulada.

O horizonte B é normalmente de pequena espessura, com 30 cm em média, textura predominantemente argilosa, de alta atividade, estrutura prismática, média, fortemente desenvolvida, consistência dura a muito dura (seco) e firme (úmido), poucos poros, muito pequenos, muito plásticos e muito pegajoso. Na maioria dos perfis, a transição para o C de alteração é gradual e ligeiramente ondulada.

O horizonte C apresenta-se normalmente com argilização média e alteração do tipo isovolúmica, relativamente friável.

O teor de areia grossa + fina é elevado em superfície (= 65%), decrescendo em profundidade, para atingir uma média de 30 a 40% no horizonte B, cujo teor de argila oscila próximo a 50%. A percentagem de silte permanece aproximadamente constante no perfil, em média 20%.

O teor de matéria orgânica na superfície é de 0,9%, decaindo em

profundidade e atingindo um valor de 0,65% no horizonte B.

As relações de pH medidas, situam estes solos em moderadamente ácidos em superfície (pH em água = 6,0 e pH em KCL = 5,5), a praticamente neutros em profundidade (pH em água = 7,5 e pH em KCL = 6,2 no horizonte C).

No horizonte A, a soma das bases é variável, com limites medidos entre 5,0 a 12,44 Eq.mg/100 g solo no horizonte A, crescendo em profundidade com variações entre 18,74 a 34,87 Eq.mg/100 g solo no horizonte B. Da mesma forma, a Capacidade de Troca Catiônica (CTC), aumenta em profundidade, com extremos entre 5,0 a 13,27 Eq.mg/100 g solo na superfície e valores entre 18,74 a 34,87 Eq.mg/100 g solo no horizonte C.

Os índices de saturação em bases obtidos, atestam solos com saturação elevada, na média de 90 a 100% e de baixo teor de AL trocável, com média de 0,05 Eq.mg/100 g, na maioria dos perfis.

Segundo a presença ou ausência de caracteres véricos e planossólicos, estes solos foram subdivididos em: Bruno não Cálculos Orto (T₁₂) Bruno não Cálculos Véricos (T₅ e T₁₇), Bruno não Cálculos Planossólicos Ligeiramente Véricos (T₁₆) e Bruno não Cálculos Véricos Planossólicos (T₆, T₇, T₈, T₁₈, T₁₉).

b) Planossolos

São solos desenvolvidos a partir das litologias da Unidade Tanque Novo Bogô, "Gnaisse Oriental" e mica-xistos do Grupo Canudos.

Englobam solos com horizonte B textural, mudança textural abrupta do A para o B (Figuras 7.16 e 7.17), horizontes A e B (este mais raramente) apresentado subdivisões.

O horizonte A2 normalmente é comum nos perfis e sistematicamente representado por areia lavada, ao passo que feições associadas à mobilização e redução de ferro, representadas por manchas ou cores de redução, são comuns no topo do horizonte B, indicando processos de hidromorfismo, vinculados à drenagem imperfeita.

São solos no geral pouco profundos, com horizontes A₁, A₂, B₂ e C, sendo que a espessura de A + B, situa-se na média dos 60 cm.

O horizonte A possui em média 30 cm de espessura, com subdivisões, textura areia-franca a franco-arenosa, estrutura angular maciça ou em blocos subangulares, moderada a fracamente desenvolvida e mais raramen-

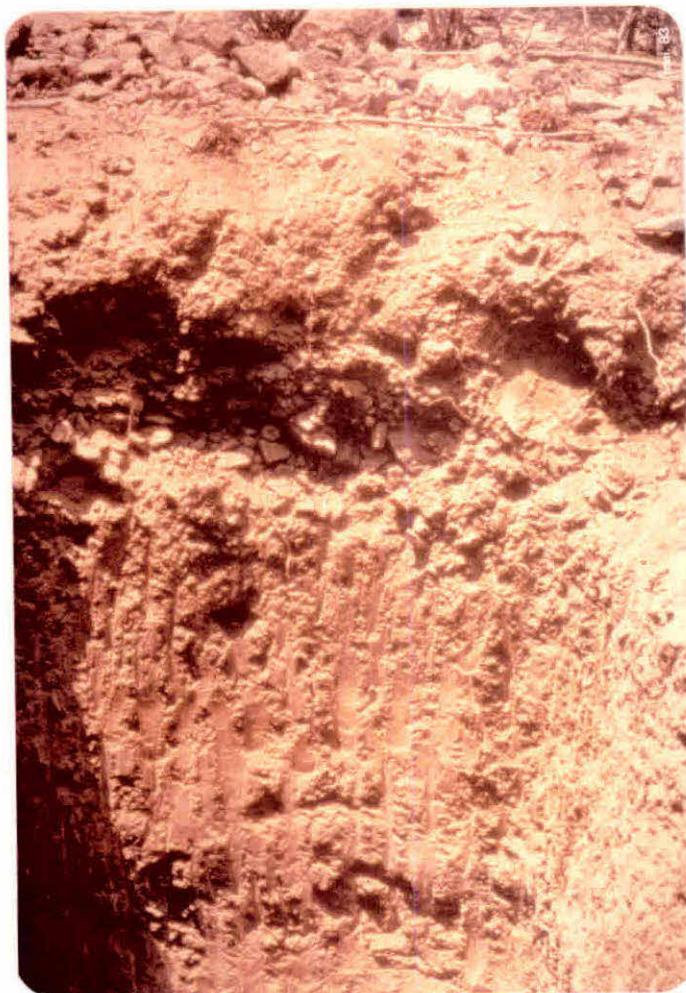


Figura 7.16

Perfil de um Planossolo originário de mica-xistos do Grupo Canudos. Fazenda Campo Formoso.

te grãos simples, consistência ligeiramente dura (seco) e muito friável (úmido), poros abundantes e muito pequenos, não plástico e não pegajoso. A transição para B é clara, abrupta, com ligeiras ondulações.

O horizonte B é usualmente de pequena espessura, coloração variada, textura franco-argilo-arenosa, apresentando subdivisões em alguns perfis. A estrutura é moderada a forte, de blocos angulares e colunar, consistência muito dura (seco) e firme (úmido), muito plástico e muito pegajoso. Muito pouco poros, muito pequenos e presença de faces de deslizamento em perfis de caráter ou tendência vertical (T_1 , T_{13} , T_{15}). A tran-



Figura 7.17

Perfil de um Planossolo Vértico sobre quartzo-feldspato gnaisse (Unidade Tanque Novo Bogó), 2 Km a oeste da Fazenda Campo Formoso.

sição para o horizonte C de alteração é normalmente gradual.

O horizonte C é argilizado, variegado, com alteração do tipo isovolúmica.

São solos moderadamente ácidos a neutros, com pH_{H_2O} e pH_{KCL} usualmente próximos a 6,0 e 5,6 no horizonte superficial e comportamento variado no horizonte B, ora tornando-se pouco mais ácido (T_{13}), ora estabilizando-se (T_{15}), ou então tornando-se mais básico (T_1).

Apresentam Índices de saturação em bases elevados, com valores na faixa de 58 a 100% em A; 88 a 96% em B e 100% no C de alteração, sendo

portanto de caráter eutrófico.

Os valores S e CTC medidos no horizonte A, indicam variações entre 2,48 a 7,67 Eq.mg/100 g solo e entre 3,29 e 8,31 Eq.mg/100 g solo. Para o horizonte B, os extremos de variação encontrados para S e CTC são respectivamente 11,74 e 23,53; 13,39 e 24,10 Eq.mg/100 g solo. O teor de Alumínio trocável é reduzido e o teor em matéria orgânica varia em superfície entre extremos de 3,57% (T₁) a 1,0% (T₁₃).

Na ausência ou presença de atributos vérticos no B textural, foram estes solos subdivididos na área em: Planossolos (T₃, T₄) e Planossolos Vérticos ou com tendência Vértica (T₁, T₁₃, T₁₅).

c) Latossolos Amarelos Eutróficos

São solos típicos da região de calcários metamórficos ou mármores do Grupo Canudos (T₂ na Figura 7.1).

Compreendem solos com B Latossólico, não hidromórficos, de coloração amarelada e profundidades superiores a 1 metro, com sequência A, B e C, sendo que A + B normalmente atingem 1 metro. Subdivisões são encontradas em B.

O horizonte A (≅ 25 cm de espessura) apresenta textura franco argilo-arenosa, estrutura maciça, pouco coesa, desfazendo-se em blocos médios, subangulares, dando uma classe ultra pequena granular. A porosidade é reduzida, ligeiramente duro (seco), muito friável (úmido), ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso. A transição para o horizonte B é clara, ligeiramente ondulada.

O horizonte B com espessura em média de 50 cm, é franco-argilo-arenoso, com estrutura moderada, blocos angulares, com leve aspecto maciço, dando ultra pequena granular, muitos poros, muito pequenos, duro (seco) e friável (úmido).

Não ocorre propriamente um horizonte C de alteração, com o material alterado ou oriundo da rocha, se transformando em solo através de dissolução pelicular. A transição do solo é abrupta e muito irregular com blocos de calcário metamórfico (Figura 7.18).

Superficialmente, são observadas concreções ferruginosas e manganíferas, originárias por processos de hidromorfismo, com deposições a partir de núcleos ou partículas de areia.

Os Latossolos na área são eutróficos (saturação em bases supe-



Figura 7.18

Perfil de um Latossolo Amarelo Eutrófico, desenvolvido sobre calcário metamórfico do Grupo Canudos. Fazenda Campo Formoso.

rior a 50%), com $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ moderadamente ácido a neutro (6 a 7).

A taxa de AL trocável é muito baixa (0,05 Eq.mg/100 g) e o teor de matéria orgânica é extremamente reduzido em superfície (0,23%).

d) Litólicos e Cambissolos Litólicos

Estes dois tipos de solos ocorrem nas regiões de filitos carbonáticos do Grupo Canudos (Unidade GCfx). No mapa da Figura 7.1, são apresentados nos perfis T₁₀, T₁₁ e T₁₄ (Litólicos) e T₉ (Cambissolos Litólicos).



Figura 7.19

Perfil de um Litólico desenvolvido sobre filitos do Grupo Canudos. Sopê da Serra da Cana Brava.

Os solos Litólicos compreendem solos pouco desenvolvidos, não hidromórficos, que apresentam o horizonte A assentado diretamente sobre o substrato ou R, ou mesmo um horizonte de pequena espessura entre o A e R (Figura 7.19). Quando ocorre um horizonte B em início de formação ou incipiente (câmbico), tem-se Cambissolos Litólicos.

Os solos Litólicos são solos com horizonte A + R (≈ 20 cm), com A de textura franca, estrutura em blocos angulares, fraca, média a pequena, tornando-se pulverulenta, ultra pequena granular. A consistência é ligeiramente dura (seco), muito friável (úmido), não plástica, não pegajoso. A transição para o C ou R é clara e ondulada. O horizonte C de alteração, quando presente, é friável com coloração avermelhada.

São solos eutróficos, com índices de saturação em bases maior que 70%, moderadamente ácidos ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 6,2$ e $6,3$ nos horizontes A e C) e com teores de areia e silte em A na faixa de 50 a 40%, respectivamente. A percentagem de matéria orgânica superficial é de 0,30%.

Os dados obtidos para os Cambissolos Litólicos indicam um horizonte A de 7 cm, textura franca, com estrutura em blocos subangulares moderada e granular, muitos poros, muito pequenos, consistência frágil (seco), friável (úmido), não plástico, não pegajoso. A transição para o B é nítida e ligeiramente ondulada.

O horizonte B (\approx 35 cm de espessura) é cascalhento, com 70% de quartzo, tamanho de cascalho. A matriz é franca, estrutura moderada, pequena em blocos sub-angulares, muitos poros, muito pequenos, muito frágil (seco), muito friável (úmido), ligeiramente plástico, não pegajoso. A transição é ondulada e clara para um C de alteração isovolúmica.

São solos com teor em silte equivalente ao teor de areia no horizonte A (\approx 40%) e aumento de silte e argila em profundidade (45 e 23% respectivamente, no horizonte B). Os índices de saturação em bases em A e B, são de 65 e 83%, indicando um caráter eutrófico.

Os Cambissolos Litólicos são solos ácidos, tanto no horizonte A ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,6$), como em sub-superfície ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} = 4,5$ nos horizontes B e C). A taxa de AL trocável é baixa em A, na faixa de 0,40 Eq.mg/100 g e bem reduzida em B e C (= 0,10 Eq.mg/100 g), com teor de matéria orgânica de 0,82% no horizonte A e 1,43% no horizonte B.

Com extensão restrita e confinada ao Serrote da Melancia, foi encontrada na área mapeada como pertencente a Formação Caatinga, uma cobertura recente de caliche (precipitados de carbonatos, argilo minerais e matéria orgânica).

Este caliche, com idade estimada do início do Holoceno (G. Richê, comunicação verbal), sofre uma dissolução em massa e constitui um solo de características extremamente particulares, como a acumulação de matéria orgânica do tipo "mull cálcico".

Tais solos, relativamente rasos, formados a partir da dissolução do caliche, que por sua vez foi gerado a partir de dissolução do calcário primário, foram classificados como Rendzina Carbonatada - B Carbonático, tendo sua extensão espacial, definida pela mancha negra no Serrote da Salina, bem evidenciada nas imagens realçadas (Figura 7.20).

7.2.2 - Os aspectos superficiais dos solos

Na análise das características superficiais dos solos da área

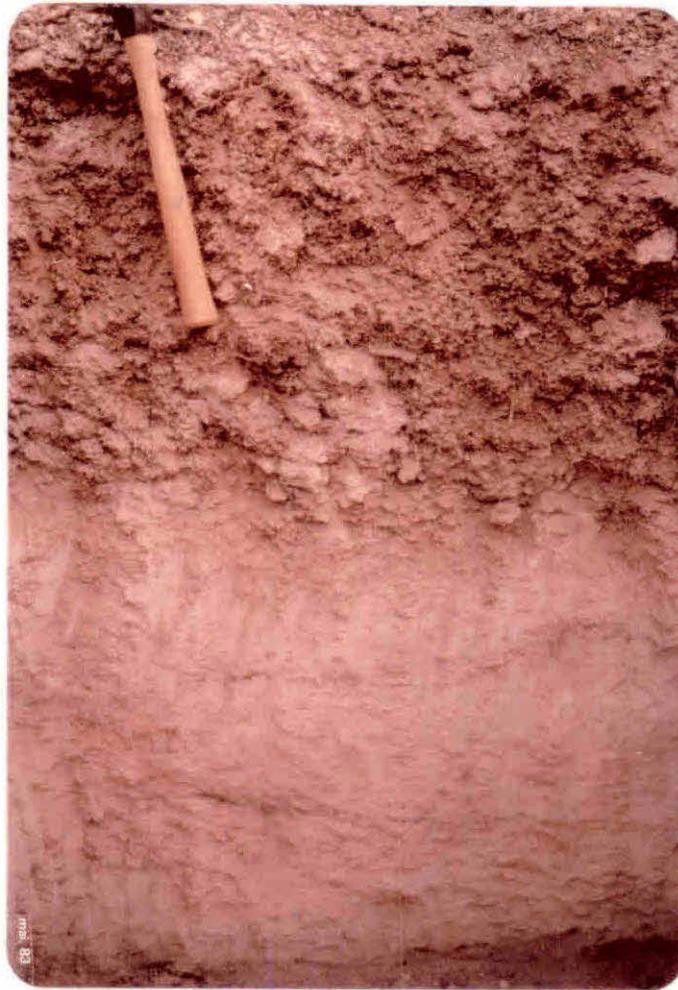


Figura 7.20

Perfil de um Rendzina Carbonatada - B Carbonático desenvolvido sobre o calcário secundário da Formação Caatinga. Serrote da Melancia.

em estudo, dois parâmetros foram considerados: (1) a cor do solo, (2) os elementos grosseiros presentes. As variações de cor dos solos podem ser vistas na Tabela 7.2, relativas às leituras de superfície tomadas a seco com a carta de Munsell e baseadas nos valores de Matiz, Brilho e Saturação.

Muito embora seja uma tarefa extremamente fácil e rotineira a medida da cor de horizontes de solos no campo e laboratório, e as corre-

Tabela 7.2

No do Perfil	Classificação	cor do Horizonte A (seco)	cor correspondente nas composições coloridas de Componentes Principais	Horizonte A		Horizonte B		Horizonte C		Horizonte A teor de Fe_2O_3 (%)	Unidade Litológica
				Eq mg/100g/solo Ca^{++} Mg							
1	Planossolo Vértico	10YR 6/3	Maenta	5,5	1,5	5,6	4,4	6,7	5,5	2,0	TN Bogó
2	Latossolo Entrófico Amarelo	10YR 6/4	Branco	3,8	2,0	4,0	1,3	5,7	1,4	3,2	GCmc
3	Planossolo	2,5YR 5/4	Vermelho	2,6	1,1	4,4	7,8	4,6	7,8	3,6	GCfx
4	Planossolo	7,5YR 5/4 5/6	Branco	5,7	1,4	7,0	4,2	13,1	6,9	2,5	GCmc
5	Bruno Não Cálcico Vértico	10YR 5/1	Azulado Escuro	6,6	5,2	18,2	10,2	20,4	10,7	5,8	TN Banguê
6	Bruno Não Cálcico Vértico Planossólico	10YR 7/2	Branco/Magenta	3,4	1,3	14,0	8,0	-	-	2,6	RC Cachoeira
7	Bruno Não Cálcico Vértico Planossólico	10YR 6/2	Magenta/Azul	2,7	1,3	17,0	7,4	11,8	3,4	2,2	TN Banguê
8	Bruno Não Cálcico Vértico Planossólico	10YR 6/2	Magenta/Branco	2,8	2,3	12,8	11,3	8,9	6,9	3,2	RC Cachoeira
9	Cambissolo Litólico	5YR 5/8	Cian	3,4	1,3	9,0	3,0	11,3	9,3	5,8	GCfx
14	Litólico	7,5YR 5/6 5/8	Cian	3,0	1,3	-	-	11,4	3,1	4,6	GCfx
12	Bruno Não Cálcico Orto	7,5YR 5/4 5/6	Branco	4,6	3,3	17,8	7,0	20,1	7,7	4,6	RC Cachoeira
13	Planossolo tendência Vértica	10YR 6/4	Branco/Cian/Magenta	3,8	0,9	12,3	9,6	11,2	8,5	2,0	Gnaisse Oriental
15	Planossolo tendência Vértica	10YR 6/2	Magenta	4,4	1,1	9,0	5,1	11,8	6,8	1,6	Gnaisse Oriental
16	Bruno Não Cálcico Planossólico Ligeiramente Vértico	10YR 5/3	Magenta/Branco	6,6	1,8	18,0	10,2	17,2	7,3	3,4	RC Cachoeira
17	Bruno Não Cálcico Vértico	10YR 5/4	Branco/Magenta	9,3	3,4	19,2	4,7	13,8	5,1	4,4	RC Cachoeira
18	Bruno Não Cálcico Vértico Planossólico	10YR 6/2	Azul/Magenta	4,2	1,8	11,5	7,5	-	-	2,0	TN Banguê
19	Bruno Não Cálcico Vértico Planossólico	10YR 4/2 4/3	Magenta / Azul Branco	4,8	2,4	15,9	8,3	11,6	6,7	3,3	RC Cachoeira
20	Rendzina Carbonatada B Carbonático	10YR 7/3	Vermelho	7,4	0,9	-	-	-	-	1,4	Caatinga

Tabela 7.2 - Dados de análises químicas e de cor a seco (Tabela Munsell) dos perfis pedológicos, descritos na área.

lações de cor e propriedades do solo possam ser exploradas (Costa, 1979), é normalmente difícil se obter um relacionamento qualitativo mais rigoroso neste tipo de abordagem.

Diversos fatores restringem correlações, ligados principalmente a subjetividade das medidas e a baixa precisão inerente à Tabela de Munsell, onde valores de matiz são apresentados de forma discreta e variando linearmente (por exemplo, 2,5 YR; 5,0 YR; 7,5 YR), impedindo que se obtenham medidas mais precisas fora destes valores. Costa (op. cit.) discutindo estes aspectos, sugere o uso de espectrorradiômetro na obtenção de medidas, como a alternativa mais viável na caracterização espectral e estimativas de propriedades de solos.

Mesmo com estas limitações, a análise dos valores de cor na Tabela 7.2, permite algumas correlações.

Assim, Cambissolos Litólicos (Trincheira 9, na Figura 7.1) são associados ao Índice 5 YR 5/8; Bruno Não Cálculos Vérticos Planossólicos a 10 YR 6/2 (Trincheira 7, 8 e 18) e Rendzina Carbonatada - B Carbonático a 10 YR 7/3 (Trincheira 20). Para os Planossolos Vérticos/Tendência Vértica, a variação medida foi pequena, representada por 10 YR 6/2; 10 YR 6/3 e 10 YR 6/4 (Trincheiras 15, 1 e 13).

Para os Planossolos (Trincheiras 3 e 4) a variação foi maior com Índices entre 2,5 YR 5/4 e 7,5 YR 5/4 5/6; com menor variação para os Bruno Não Cálculos Vérticos, cujos valores ficaram entre 10 YR 5/1 e 10 YR 5/4 (Trincheiras 5 e 17). Litólicos e Bruno Não Cálculo Orto confundem-se nos valores 7,5 YR 5/4 5/8 (Trincheiras 14 e 12). Finalmente, o valor medido para o Latossolo Amarelo Eutrófico equivale ao do Planossolo Tendência Vértica (Trincheiras 2 e 13, respectivamente).

Desta discussão, fica claro que apesar de alguns tipos de solos possuírem Índices de cor característicos, a grande concentração dos valores, com variações próximas ao Índice de Matiz 10 YR, indica que uma abordagem discriminativa mais generalizada, a partir das variações medidas, seria difícil para a área-teste.

Em relação aos elementos grosseiros, sem obviamente se considerar os afloramentos, foram observados 5 tipos de elementos:

- 1) espalhamentos de quartzo angulosos, mais ou menos ferruginizados, em áreas de mica-xistos, oriundos de filões de quartzo no material parental. Tais seixos são característicos das áreas dos Planossolos;

- 2) espalhamentos de seixos de quartzo arredondados, dispostos nas bordas dos grandes eixos de drenagens, ligados a ação das precipitações torrenciais e depósitos de elúvios grosseiros, vinculados a condicionantes geomorfológicas, sem relações diretas com o substrato litológico ou com os solos subjacentes;
- 3) concreções ferromanganesíferas tipo "chumbo de caça", de presença mais ou menos generalizada na área, porém de maior presença nas regiões dos Latossolos, desenvolvidos dos calcários metamórficos e mármore;
- 4) relíquias formadas de cascalhos/calhaus ferruginizados de rochas (blocos) alteradas, mais abundantes nas áreas de rochas ricas em ferro magnesianos (Vertissolos das rochas máficas/ultramáficas) e dos mica-xistos;
- 5) crostas calcárias com estruturas relacionadas com as unidades de calcário metamórfico/mármore e caliche (solos tipo Rendzina).

Os elementos grosseiros podem influenciar nas respostas espectrais detectadas, porém à primeira vista, seus efeitos são mais sensíveis de modo indireto, ligados às variações que causam nas densidades de cobertura vegetal. Assim, em áreas de Planossolos, o capeamento de quartzos angulosos modifica favoravelmente o contexto hídrico do solo, com o desenvolvimento de uma vegetação de caatinga bem mais densa. Por outro lado, nas áreas de crostas calcárias, além deste efeito, deve ser acrescentada a característica química favorável das dissoluções, com a presença de uma vegetação também densa e aparentemente com folhagem verde, na passagem de Fevereiro de 1979 do MSS-Landsat.

7.2.3 - O relacionamento Litologia/Solo e padrões tonais realçados

Na ausência de dados analíticos mais completos, tais como análises químicas totais da rocha sã e dos seus produtos de alteração, caracterização dos argilo-minerais e mineralogia detalhada, nos vários horizontes, a discussão a seguir se restringe a análises das relações entre o solo e o substrato, baseada nos dados disponíveis.

Na Figura 7.21, são mostradas as variações da relação Ca^{++}/Mg^{++} (v. Tabela 7.2), segundo os horizontes A, B e C, dos vários perfis descritos na área-teste. De importante neste gráfico, é a confirmação da característica residual dos solos na área, dada pela pequena variação nas

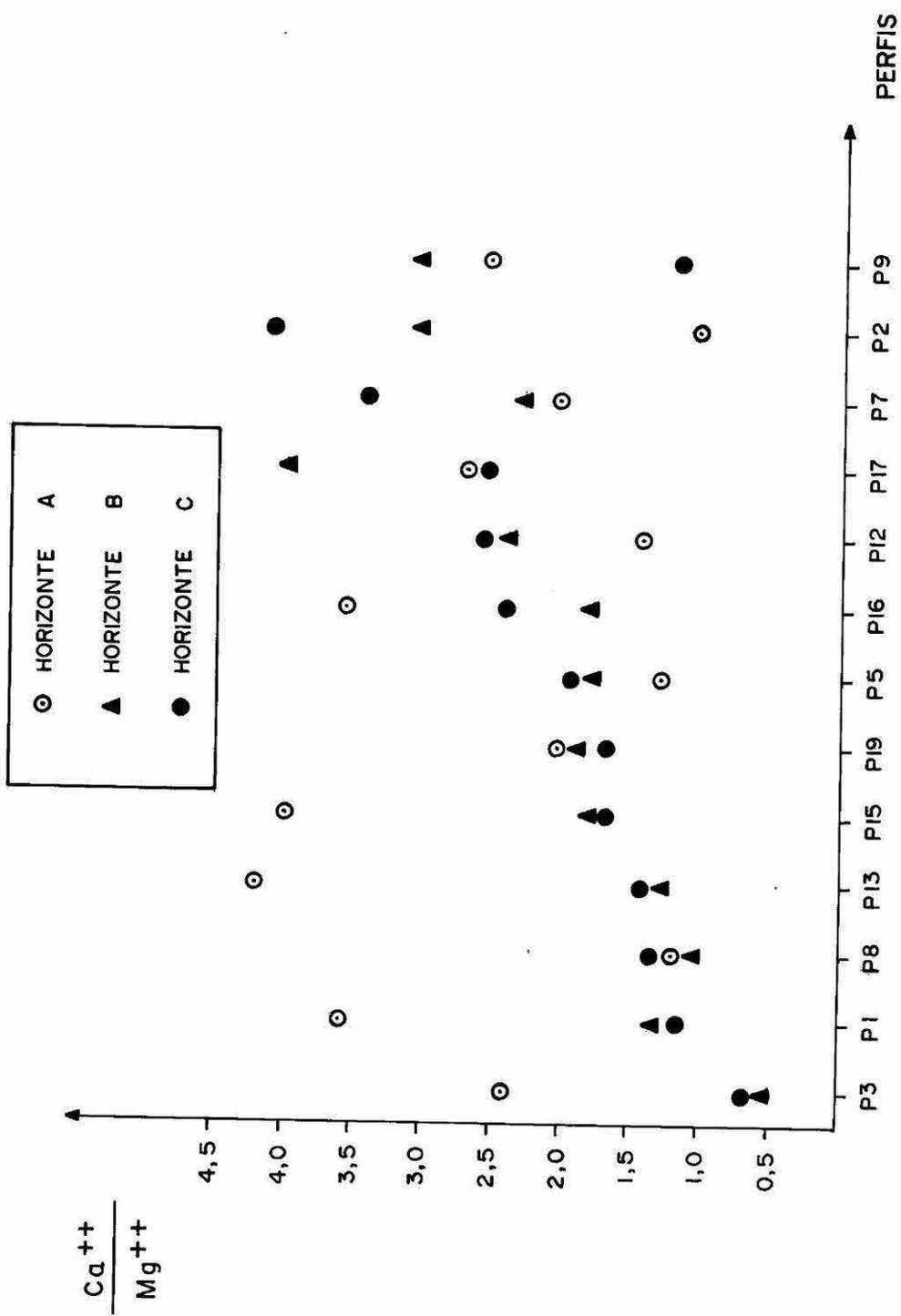


Figura 7.21 - Relação Ca⁺⁺ / Mg⁺⁺; segundo os horizontes A, B e C dos vários perfis pedológicos.

relações $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ dos horizontes B e C, da maioria dos perfis, o que reforça as afirmações anteriores de vários autores (Leube, 1972; Mattoso, 1975; Delgado e Souza, 1975), sobre o estreito relacionamento solo/rocha. O gráfico também evidencia que a correlação $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$ entre os horizontes A e B, é baixa pelas características dinâmicas do horizonte A, mais suscetível a lixiviação (aumento na relação $\text{Ca}^{++}/\text{Mg}^{++}$, pela maior saída de Mg^{++}), e fixação maior do Ca^{++} na presença de matéria orgânica), etc.

Se os padrões tonais dos realces refletem o substrato litológico, através do horizonte A dos solos, o entendimento deste relacionamento deve ser baseado, a partir da análise de correlações entre dados superficiais e de sub-superfície. Mais ainda, esta correlação deve ser realizada a partir de elementos que na superfície, são de alta influência nas variações de reflectância e no substrato são fundamentais, como diagnósticos das variações de solo.

Na Figura 7.22, foram hierarquizados os vários perfis, segundo o conteúdo de ferro total do horizonte A (v. Tabela 7.2), expresso por teores de Fe_2O_3 (ataque por HCl, HF e HClO_4).

Da análise destes agrupamentos, observa-se uma tendência de boa correlação entre teores de ferro total do horizonte A e alguns grupos de solos classificados no campo, em especial para as áreas dos metamorfitos do Grupo Caraíba, compreendendo os Planossolos Vérticos, Bruno Não Cálcicos Vérticos Planossólicos + Bruno Não Cálcicos Planossólicos Vérticos e Bruno Não Cálcicos Vérticos. Como as variações de reflectância são governadas em grande parte por variações na quantidade de ferro, a constatação destes vínculos na Figura 7.22, é significativa.

Se existe uma correlação entre o teor de ferro total do horizonte A com perfis definidos em campo e se estes perfis foram classificados a partir principalmente do horizonte B, que é o horizonte diagnóstico em Pedologia, deve obviamente haver algum relacionamento entre estes valores do horizonte A, com valores medidos para o horizonte B.

Cabe aqui um parêntese nesta discussão. Genericamente, a bibliografia sobre o Vale do Curaçá e N da Bahia, atesta a presença de Vertissolos como provenientes da alteração de rochas máficas/ultramáficas (Leube, 1972; Mattoso, 1975).

A denominação Vértica ou tendência Vértica, aplica-se ao horizonte B do solo, com caracteres peculiares (altamente argiloso, altos valores de Soma de Bases, CTC e V%; presença de argila de atividade alta

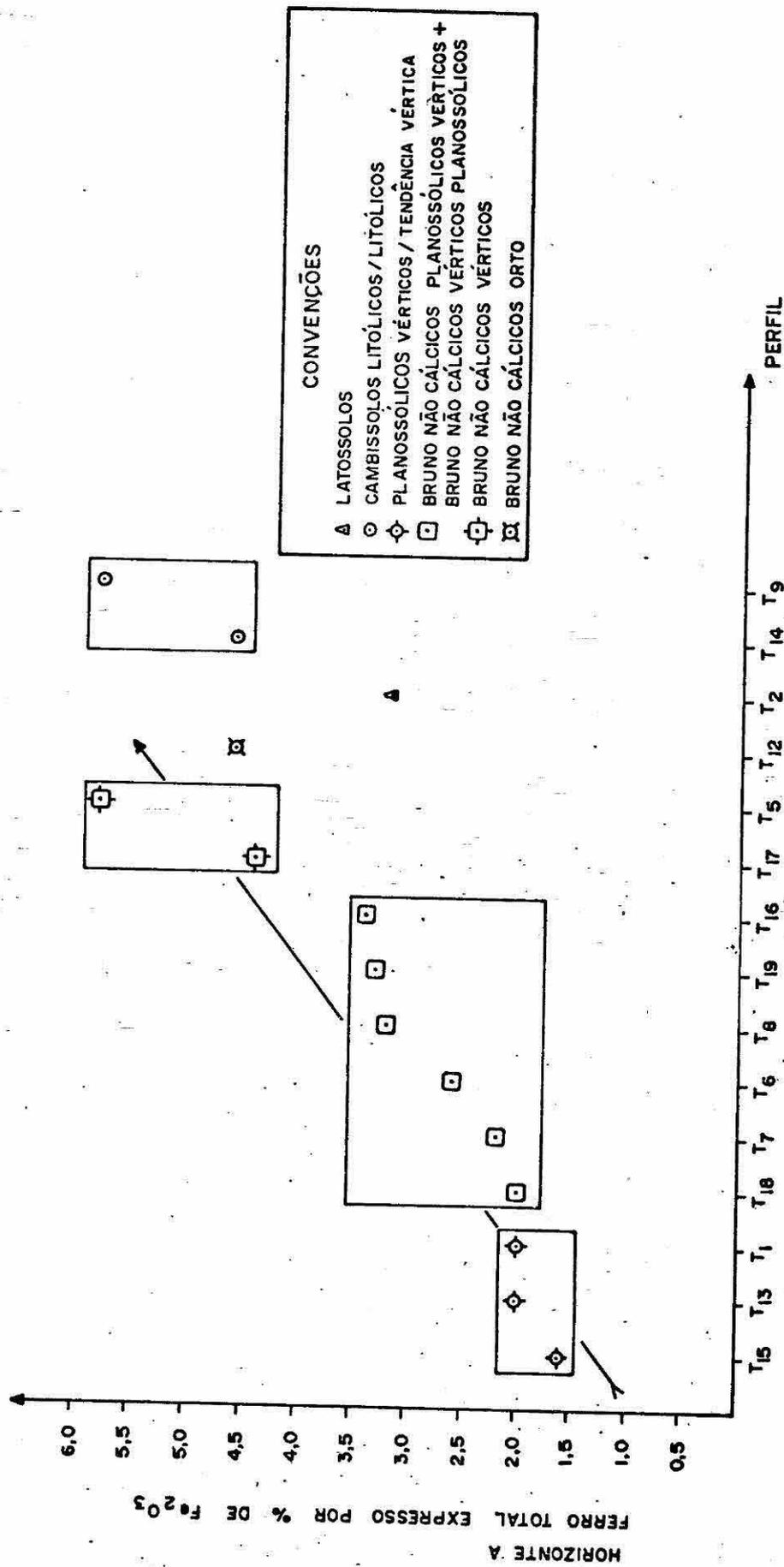


Figura 7.22 - Hierarquização dos perfis pedológicos, segundo o conteúdo de Ferro Total do Horizonte A.

(montmorillonita), faces de deslizamentos, fendas de expansão, "gilgai", etc.).

Dentro deste contexto, a Figura 7.23 mostra a tendência obtida na correlação entre os valores S (Soma das Bases) do Horizonte B e o teor de ferro total do horizonte A, para os solos mais comuns dos metamorfitos do Grupo Caraíba. De modo geral, a mesma tendência anteriormente vista, persiste na definição de campos preferenciais: campo dos Planossolos Vérticos, campo dos Bruno Não Cálcidos Planossólicos Vérticos + Bruno Não Cálcidos Vérticos Planossólicos e campo dos Bruno Não Cálcidos Vérticos, denotando um caráter de maior teor em ferro e maior valor de S, quando se desloca de Planossolos Vérticos para Bruno Não Cálcidos Vérticos.

Como o íon Ca é o que mais contribui no total das somas das bases medidas e refletiria em grande parte a participação de plagioclásio no substrato, foi também analisada a relação Ca^{++} do horizonte B e teor em Fe_2O_3 do horizonte A.

Na Figura 7.24, são mostradas as mesmas disposições dos campos anteriores, com os Planossolos Vérticos situando-se em um campo (I) inferior esquerdo; os Bruno Não Cálcidos Planossólicos Vérticos + Bruno Não Cálcidos Vérticos Planossólicos, em um campo II, mais intermediário, ligado ao maior valor da taxa $\frac{\text{Ca}^{++} \text{ (B)}}{\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ (A)}}$ que o anterior e em um campo III

superior, onde preferencialmente se dispõem os Bruno Não Cálcidos Vérticos.

Especulativamente, seria razoável supor que este campo III, tenderia a um campo IV, com valores mais altos na relação $\frac{\text{Ca}^{++} \text{ (B)}}{\text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ (A)}}$ na

presença dos Vertissolos das máficas/ultramáficas.

Para ilustrar o relacionamento entre os solos e o substrato de metamorfitos do Grupo Caraíba, foram associados, na Figura 7.24, os números dos perfis pedológicos e suas respectivas unidades litológicas, sendo que ao Campo I estariam relacionadas rochas das Unidades TN Bogô e Oriental (mais félsicas), ao Campo II em sua maioria os migmatitos RC Cachoeira e parcialmente TN Banguê, e ao Campo III, de caráter mais máfico, estariam relacionadas predominantemente as rochas da Unidade TN Banguê. Finalmente, a associação dos padrões tonais

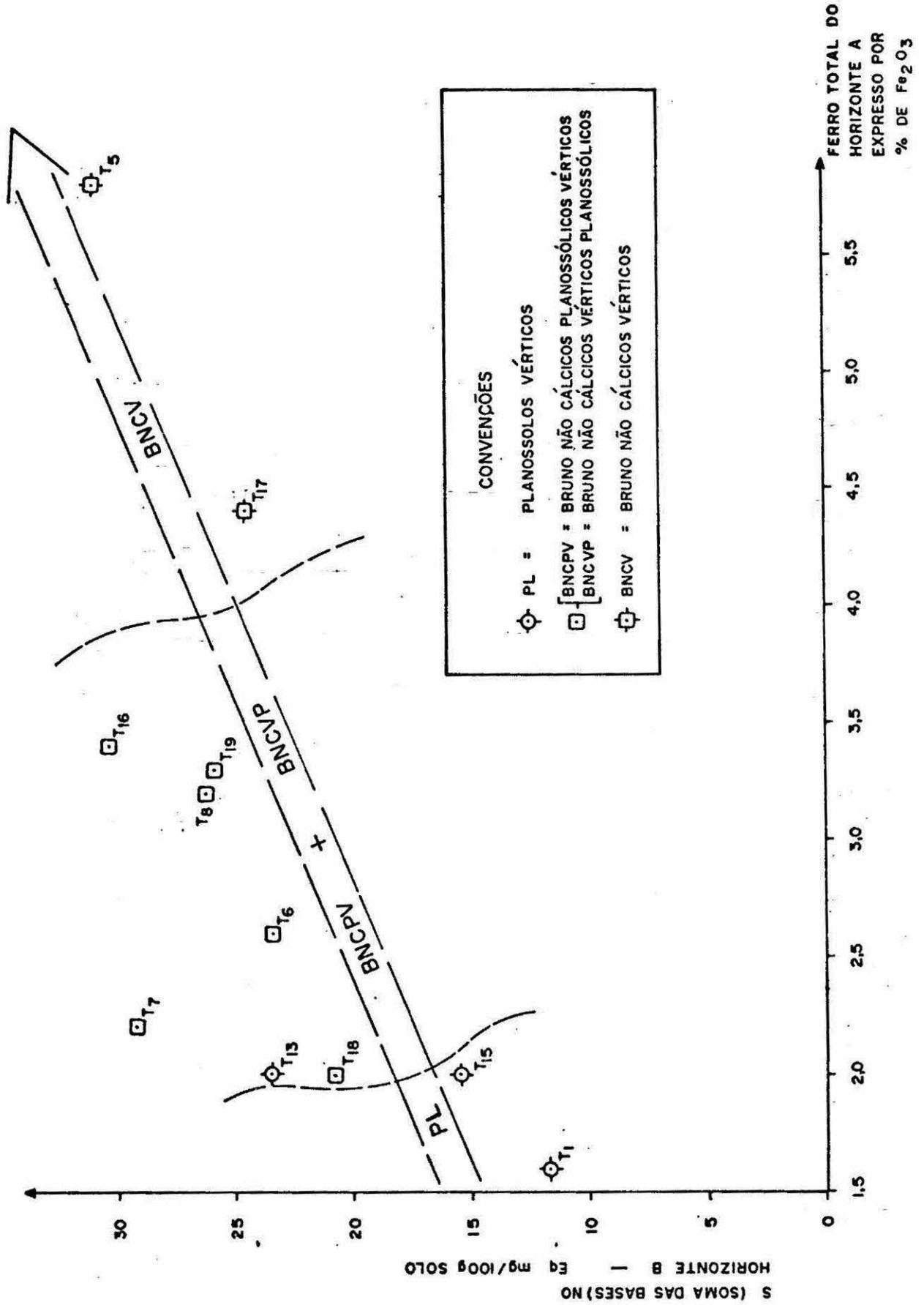


Figura 7.23 - Relação entre os valores de soma de bases do horizonte B e o teor de ferro total do horizonte A, para os solos mais comuns dos metamorfitos de alto grau do Grupo Caraíba.

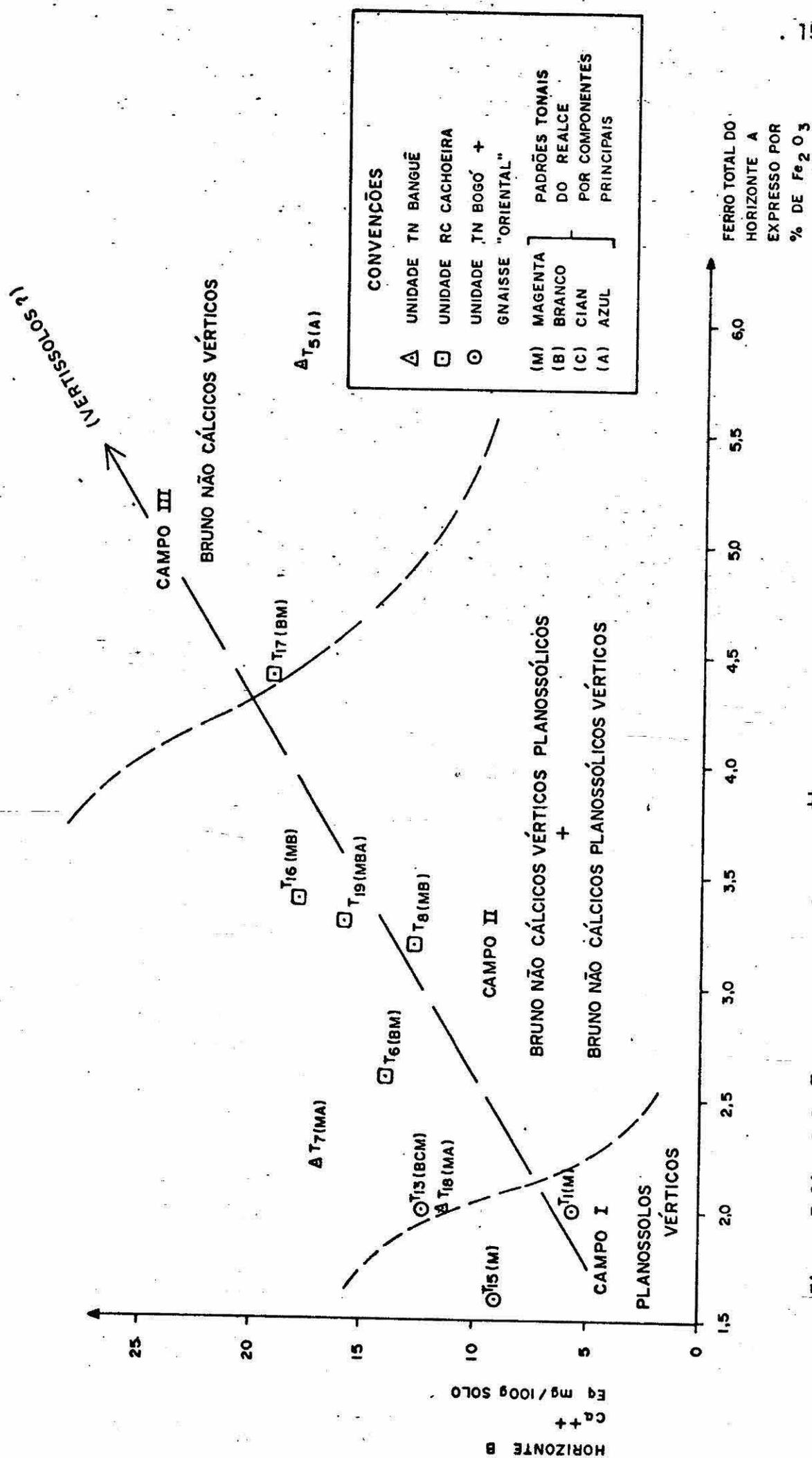


Figura 7.24 - Relação entre o conteúdo de Ca⁺⁺ do horizonte B e o teor de ferro total do horizonte A, para os solos mais comuns do Grupo Caráíba.

do Componente Principal colorido (Figura 5.22), para a região dos perfis (v. Tabela 7.2), mostra que Planossolos Vérticos preferencialmente ligam-se a tonalidades magenta homogênea, Bruno Não Cálculos Vérticos e Vertissolos ao tom azul-escuro homogêneo e as heterogeneidades tonais de magenta/branco/azul, estariam ligadas aos solos Bruno Não Cálculos Vérticos Planossólicos e Bruno Não Cálculos Planossólicos Vérticos.

Com os dados disponíveis, não se conseguiu elucidar as causas das respostas muito peculiares em cian, para os Litólicos e Cambissolos Litólicos, e branco para os Bruno Não Cálculos Orto, vistos na Figura 5.22 e associados a filitos/filitos carbonáticos e microclina-granitos, respectivamente.

Finalizando, convém mencionar que apesar de não terem sido feitas outras tentativas de correlações, os padrões tonais da área podem também sofrer influências de outros parâmetros (excetuando o teor de ferro), tais como a granulometria, o teor e tipo de argilo-minerais presentes e a percentagem de opacos. Exclui-se desta abrangência, a umidade e o teor de matéria orgânica, cujos valores, à exceção da Trincheira da Unidade Tanque Novo Bogô, são reduzidos, i. e., inferiores 2% e, portanto, segundo Baumgardner et alii (1970), não tenderiam a provocar mascaramento na contribuição dos outros parâmetros considerados.

7.3 - Vegetação

7.3.1 - Considerações Gerais

No mapa da Figura 7.1, são encontrados os locais de levantamentos para a vegetação na área da pesquisa. Foram realizados 32 levantamentos, cujas descrições são encontradas no apêndice III, sendo que 85 espécies foram caracterizadas e 83 identificadas, e se encontram numa lista florística, incluída em anexo, no Apêndice III.

Tais dados, coletados inicialmente para este estudo, compõem atualmente o acervo inicial de dados de um projeto específico mais amplo, de caracterização fitoecológica, do Baixo Vale do Curaçá, sendo desenvolvido pelo CPATSA/EMBRAPA, de Petrolina, em cooperação com o INPE/CNPq e a UFRPE (Universidade Federal Rural de Pernambuco). Tal projeto se baseia fundamentalmente nos dados multitemporais MSS-Landsat realizados, usados nesta

pesquisa.

De modo geral, pode-se afirmar que a vegetação na área é constituída por caatinga, vegetação típica do semi-árido brasileiro, composta por espécimes diversificados, desde as unidades perenefólias, como as caibeiras e juazeiros, presentes ao longo dos leitos dos riachos mais proeminentes, até as caducifólias que são dominantes neste ambiente. Miranda (1983), discute com detalhes a ecologia das comunidades vegetais da caatinga.

A vegetação é estratificada, apresentando-se na maioria das vezes com 3 a 4 estratos* e, em alguns casos, 5 estratos. Um estrato herbáceo anual sempre ocorre, podendo ser denso a extremamente ralo, com exceção de certas áreas muito degradadas, normalmente próximas às vias de acesso e às margens de riachos, em cujos solos não há vegetação herbácea, mas somente arbustos, blocos e fragmentos de rochas e afloramentos.

A altura dos maiores indivíduos raramente atinge 12 metros, excetuando a vegetação da margem dos riachos, ficando a média das maiores alturas em torno de 8 metros.

Praticamente, toda a vegetação na área vem sendo objeto de uma marcada influência humana, através de mecanismos variados de utilização (pastejo, lenha para carvão, principalmente) de uma forma intensa, constante e antiga. O equilíbrio com esta pressão da atividade antrópica, é fundamentalmente regulado pela sazonalidade climática.

7.3.2 - Esquema de abordagem

Uma discussão é oportuna sobre o esquema de levantamentos utilizado. De modo geral, a Geobotânica é concebida como a análise visual das características da vegetação, com o intuito de se obter informações de diferenças geológicas na paisagem (Raines e Canney, 1980).

A aplicação de Geobotânica pode ser direcionada para três campos de abordagens conceituais: (1) o estudo das comunidades de plantas, incluindo características florais e espécies particulares (indicadores ou guias); (2) o estudo da densidade de vegetação, incluindo aqui o caso extremo da ausência completa de vegetação e (3) o estudo da morfologia da planta.

*estratos - níveis de convergência da biomassa.

Uma comunidade vegetal em um local particular, é função de um somatório de fatores ambientais complexos, um dos quais é o geológico.

Do ponto de vista de sensoriamento remoto, Geobotânica corresponde à análise da radiação eletromagnética refletida e emitida, da cobertura vegetal, visando definir diferenças na geologia subjacente.

A utilização de técnicas de sensores remotos, tomando-se os três campos de abordagens geobotânicas discutidos anteriormente, requer considerações sobre a dimensão ou aspectos da cobertura vegetal a serem observados e, portanto, que as escalas das imagens disponíveis sejam levadas em conta.

Pelas características de baixa resolução espacial dos dados Landsat, graves limitações são impostas às aplicações, visando-se detectar mudanças morfológicas diagnósticas de vegetais ou mesmo a estudos de comunidades, onde uma particular espécie isolada é procurada. Normalmente, os resultados em sensoriamento remoto mais bem sucedidos (Lyon, 1975; Bølvi-ken et alii, 1977; Raines et alii, 1978; Birnie and Francica, 1981), envolveram análises de diferenças de densidades vegetais e contrastes, associados a grandes mudanças ou ocorrências de "mega-comunidades".

Destas considerações, foi fundamentalmente analisada no trabalho, a variação da caatinga do ponto de vista fisionômico (densidade da vegetação*). Do aspecto florístico**, só foram exploradas as espécies que mais contribuem no fitovolume e/ou fitomassa.

A definição dos locais de levantamentos foi governada pela distribuição espacial das isotonalidades, presentes nos realces nas épocas secas e chuvosas, e tomando-se por base as premissas formuladas nos capítulos 5 e 6, sobre a influência da cobertura vegetal, interpretadas pelos comportamentos espectrais de vegetação em imagens Landsat.

A localização dos pontos de interesse nas áreas "diagnósticas" para vegetação, foi efetuada a partir de análise com fotografias aéreas, conciliada com as facilidades de acesso, devido a problemas de apoio logístico para amostragens e transporte dos espécimes coletados.

Na tomada de cada ponto, os dados colhidos foram:

- 1) detecção dos estratos por nível de convergência de biomassa/biovolume.
- 2) identificação das espécies dominantes por estratos.

*vegetação - expressão espacial da flora, interagindo com o meio.

**flora - lista de espécies que ocorrem na área.

- 3) estimativa do recobrimento do solo pela cobertura vegetal.
- 4) estimativa do recobrimento do solo por fragmentos e blocos de rochas.

Na delimitação dos estratos, notificou-se o estrato "dominante" assinalado com "D", nas descrições do Apêndice III. Este seria o estrato que imprime à paisagem a sua característica fisionômica mais marcante. Se dois estratos em conjunto, são de maior destaque na fisionomia da vegetação, então serão co-dominantes, indicados por "C", nas descrições.

A classificação de estrato arbóreo e arbustivo, com suas subdivisões, não foi levada em consideração, basicamente devido ao grande número de variáveis que, presente em um mesmo espécime, deixa dúvida na escolha da terminologia e critério classificatório. Assim, optou-se por denominações de estratos vinculados aos seus limites de altura, segundo o esquema:

Estrato arbóreo	: maior que 7 metros
Estrato arbustivo alto	: de 4 a 7 metros
Estrato arbustivo médio	: de 2 a 4 metros
Estrato arbustivo baixo	: de 1 a 2 metros
Estrato herbáceo	: de 0 a 1 metro*

As espécies encontradas em cada estrato, receberam no levantamento, preferencialmente, o nome vulgar; no seu desconhecimento, o nome científico, e no desconhecimento de ambos os nomes, o seu número de coleta. Os espécimes coletados foram identificados pelo IPA (Instituto de Pesquisa Agropecuária), em Recife, PE, e incorporados aos herbários do CPATSA e do IPA.

Para as espécies dominantes de cada estrato, colocou-se os ordinais 1º, 2º e 3º, obedecendo a ordem de dominância, porém nem sempre foi possível a obtenção destes dados.

Como o que interessava basicamente para a pesquisa, era a estimativa da percentagem de recobrimento, o que se analisou prioritariamente em campo, foi a estrutura horizontal da vegetação, i. e, a análise da distribuição horizontal do fitovolume/fitomassa na área de 0,62 ha (1 pixel). Isto foi calculado, a partir da projeção hipotética da área da copa dos indivíduos predominantes no estrato, dentro da área unitária de 0,62 ha, estimando esta percentagem visual de recobrimento, segundo os diagramas adaptados de Folk (1951).

*arbustos e árvores jovens podem estar incluídos neste estrato.

Convém salientar que estes levantamentos foram realizados na época de chuvas, sendo estas estimativas de recobrimentos, ligadas à copa com folhagem. Também na estimativa da densidade de recobrimento do solo por blocos de rochas, fragmentos de quartzo, cascalhos, etc., foram empregadas as relações percentuais, propostas por Folk (1951).

7.3.3 - Resultados

Para a região de ocorrência das Unidades TN Banguê e RC Cachoeira, os dados obtidos no perfil da Fazenda Monte Alegre/Fazenda Cabaceiras, indicados nos levantamentos 1, 2, 3 e 4, mostram uma formação vegetal predominantemente arbustiva média, de 2 a 4 metros de altura no estrato principal, constituída por catingueiras e pereiros principalmente e com percentagem de recobrimento baixa (10 a 30% em média). A participação do estrato herbáceo anual não é grande, ocorrendo na taxa média de 40 a 60% de recobrimento. É relativamente baixo, na faixa de 30%, o recobrimento do solo por blocos e fragmentos de rochas e quartzo.

Para leste, dentro da unidade de biotita gnaisse ("faixa oriental"), os dados dos levantamentos 5, 6 e 7, indicam que a altura média dos indivíduos torna-se maior, com a dominância tendendo de 2 a 4 metros para 4 a 6 metros de altura no estrato principal, i. e, passa a ser da faixa arbustiva alta, representada principalmente por catingueiras e já se fazendo presente um estrato subordinado arbóreo, constituído por baraúnas, quixabeiras e catingueiras, de 6 a 9 metros de altura. A percentagem de recobrimento vegetal situa-se na faixa de 30 a 50% nestes levantamentos, ao passo que os dados de recobrimentos de solos medidos, indicam grande variabilidade, de 20 a 80%, constituídos principalmente por fragmentos de quartzo extremamente claros.

No conjunto, os levantamentos da primeira parte do perfil indicam para as Unidades TN Banguê/RC Cachoeira, uma baixa densidade de cobertura vegetal do tipo arbustivo médio. Este padrão é bem condizente com as premissas levantadas na análise visual das imagens, que mostram para as Unidades TN Banguê e RC Cachoeira, ausência de influência de cobertura vegetal e pouca participação de blocos de rochas nas respostas detectadas que seriam ligadas basicamente à reflectância dos solos de alteração de rochas.

Para a porção oriental, a presença de cobertura vegetal com in

divíduos de maior porte e, conseqüentemente, maior copa de folhas, obrigatoriamente acarretaria uma maior influência nas respostas da faixa, notoriamente na época chuvosa, como detectada nas imagens da passagem de fevereiro de 1979. Em adição, por ser uma vegetação com maior percentagem de recobrimento e em manchas nesta faixa oriental, a resposta registrada deve ser contrabalanceada pelas áreas de exposição de solos, dando o padrão heterogêneo de tonalidade das imagens, vistas nos Capítulos 5 e 6.

Como a região representativa dos mármores/calcários metamórficos do Grupo Canudos, foram realizados levantamentos nos Serrotes da Salina e Melancia, visando esclarecer as relações tonais, observadas nos produtos MSS-Landsat realçados.

Os levantamentos 8, 9 e 10 no Serrote da Salina, indicam uma associação florística de caatinga, com elevada percentagem de recobrimento (60 a 80% em média), arbustiva média a alta, tendo maior diversidade nas espécies dominantes, que as vistas anteriormente, representadas por marmeleiros (largamente dominante nos levantamentos 8 e 9), *cambarã* e *Lippia* sp. (levantamento 10). Subordinadamente, ocorreriam catingueiras, faveleiras angicos.

Tais dados estão de acordo com as tonalidades avermelhadas, presentes nestes sítios, mostrando ser a cobertura vegetal, o parâmetro mais importante regulador das reflectâncias detectadas.

Para o Serrote da Melancia, foram realizados três levantamentos, sendo o nº 11, na região de mármores/calcários metamórficos (Unidade GCMc) e os de nº 12 e 13, na área de ocorrência do calcário, da Formação Caatinga.

Para a região de tonalidades avermelhadas da Figura 5.8. os dados do ponto 11 indicam a ocorrência de catingueiras (dominante) e jurema (secundariamente), constituindo uma vegetação arbustiva alta, com percentagem de recobrimento na faixa de 60 a 80%, associada a alguns blocos de mármore e raros fragmentos de quartzo.

Para a região do caliche, os levantamentos 12 e 13 indicam a ocorrência respectivamente de marmeleiros e catingueiras, como estratos dominantes, na faixa arbustivo médio a arbustivo alto, com percentagem de recobrimento de 60% a 80%. Esta vegetação ocorre em um substrato caracterizado por grande quantidade de blocos cinzento escuros (placas) de calcário secundário, com muito pouca quantidade de fragmentos de quartzo.

Os dados obtidos são também coerentes com os tons realçados,

ênfatizando a influência da cobertura vegetal para as áreas avermelhadas e para as áreas negras, onde a densidade elevada de ramos, caules e troncos, provocaria uma grande atenuação na resposta, já baixa do substrato, com blocos e placas de calcário cinzento com "lápies". Uma segunda constatação refere-se à maior diversidade observada nas espécies dominantes nesta Unidade GCmc, em relação às anteriores de gnaisses e migmatitos, onde a associação catingueira-pereiro, cede lugar a marmeleiros, cambará, *Lippia* sp. e catingueiras, deixando de ocorrer pereiros. Finalmente, considerando-se que tons avermelhados indicam folhagens e os negros, sua ausência, e levando-se em conta a semelhança dos levantamentos 11 e 13, situados nas Unidades GCmc e calcário/Caatinga, o que poderia explicar a maior persistência da folhagem, nas imagens da época seca e chuvosa, seria uma maior disponibilidade de água, ligada a fatores vinculados às diferentes características dos solos nos mármores e calcários secundários, tais como: (1) maior profundidade; (b) maior infiltração (relacionando-se com topografia, permeabilidade); (c) maior capacidade de retenção intrínseca e (d) diferenças de regimes de pluviosidade nas duas áreas.

Para a Unidade GCmf, a leste da Fazenda Humaitã, foram realizados três levantamentos (pontos 14, 15 e 16, respectivamente), que mostram a presença de uma vegetação com recobrimento de 60 a 80%, ocorrendo em manchas ou bosque, com quase ausência de estrato herbáceo, pouca estratificação e espécies dominantes na faixa arbustiva e arbustiva arbórea, representadas principalmente por *Lippia* sp. e faveleiras, seguidas por umbuzeiros, angicos, baraúnas e catingueiras. Normalmente, nas áreas com maior cobertura de vegetação, ocorre maior quantidade de fragmentos de quartzo e cascalhos, ao passo que nas áreas mais abertas, a predominância é de um solo avermelhado com pouco recobrimento. A presença de um padrão com dominância de matiz avermelhada e subordinadamente branco-amarelada para a Unidade GCmf, pode ser explicada no primeiro caso, pela influência da cobertura da copa vegetal e, no segundo, pela característica de disposição desta cobertura em bosques, possibilitando a detecção de respostas das áreas de exposição de solos e rochas (vide Figura 5.8).

Para a região de ocorrência dos metamorfitos de baixo grau do Grupo Canudos - Unidade GCfx, foram realizados 12 levantamentos, sendo 2 no extremo SW da área de estudo, a NW e N da Fazenda Campo Formoso (pontos 17 e 18) e 10 verificações no trecho Fazenda Xique-Xique/Fazenda Humaitã, no NE da quadrícula (levantamentos 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27 e 28).

Os levantamentos próximos à Fazenda Campo Formoso mostram uma vegetação de caatinga, com 60 a 80% de recobrimento, com porte dominante de 0,5 a 5 metros, representada principalmente por catingueiras, marmeleiros e quebra-facas. A percentagem de recobrimento do solo por fragmentos e seixos de quartzo escuros, é também elevada, na faixa de 90%.

Tais dados são condizentes também com o respectivo padrão detectado na área, mostrando níveis escuros nos 4 canais originais da época seca e gradações em cinzento a negro, na Figura 5.8. Isto confirma ser a influência da cobertura vegetal com troncos e caules sobre um substrato normalmente de baixa reflectância (seixos e fragmentos tingidos por óxido de ferro), a causa dos níveis registrados na época seca, ao passo que a presença de folhagem seria a responsável pelas respostas da época mais chuvosa.

Para a faixa GCfx, no NE da área de pesquisa, os dados colhidos são mais diversificados, face à maior degradação da paisagem. Eles mostram uma cobertura vegetal com 4 estratos em média e espécimes predominantes entre 2 a 4 metros, i. e, arbustiva média, representadas por catingueiras, quebra-facas e marmeleiros. A estimativa de cobertura dos estratos dominantes, mostra uma região de maior variabilidade, com maior incidência de vegetação fechada (60 a 80% de recobrimento). A característica arbustiva média da área, teve exceção apenas no levantamento nº 22, onde foi constatada a dominância de um estrato arbóreo (8 a 9 metros), de densidade elevada, representado predominantemente, por imbiracú e, secundariamente, por aroeira.

Associado a esta cobertura vegetal, ocorre um substrato com percentagem de recobrimento do solo em torno de 75%, representado por fragmentos e seixos de quartzo (dominantemente) e blocos e fragmentos de micaxistos/mármore e afloramentos.

Para NE, dentro da área de maior grau metamórfico, mapeada como domínio do Grupo Macururê - Unidade GMxg, os levantamentos executados no trecho Fazenda Macambira/Botocudo (pontos 29, 30, 31 e 32) atestam a presença de uma cobertura vegetal dominantemente de 80 a 90% de recobrimento, com maior número de estratos em média (de 4 a 5 estratos), com os co-dominantes mais frequentes, na faixa arbustiva, onde se destacam carqueja e jurema branca, jurema vermelha, catingueiras, faxeiros e quebra-facas. A percentagem de recobrimento do solo, nesta área, é mais elevada que a anterior, fornecendo valores na faixa de 80 a 90% em média, i. e, muito pou-

ca porção de solo está exposta.

Os conjuntos de dados para as Unidades GMxg e GCfx indicam que as diferenças em respostas nestas imagens, estão basicamente ligadas às diferenças de percentagens de recobrimento de cobertura vegetal e do solo, que se tornam sistematicamente maiores em direção à faixa de mais alto grau metamórfico.

Tais fatores combinados, explicam razoavelmente bem as diferenças de radiância registradas, sendo que com os poucos dados disponíveis, não se conseguiu caracterizar diferenças de associações florísticas na área.

A verificação da cobertura vegetal no trecho de filitos, a SW da Fazenda Humaitã, mostra um quase ausência de cobertura vegetal, com estimativa de 0 - 5% de recobrimento, representada por um estrato herbáceo de malvas. Esta ausência de vegetação é acompanhada também por uma ausência de recobrimento dos solos, os quais são rasos, claros e mostram superficialmente, pequenas plaquetas de material micáceo.

Deste modo, as diferenças constatadas de recobrimento pela cobertura vegetal, seriam controladas em grande parte, na área em estudo, pelas diferenças composicionais do substrato, não se dispondo, nesta fase de conhecimento, de dados mais consistentes, que esclareçam melhor os mecanismos e aspectos deste interrelacionamento e suas vinculações com outros fatores (topografia, clima, etc.).

Em relação à presença de diferentes associações florísticas, relacionadas às unidades litológicas na área, os dados obtidos até esta fase de pesquisa, permitem associar catingueiras e pereiros predominantemente às rochas gnáissicas/migmatíticas e uma associação mais diversificada de marmeleiros, camarões, Lippia sp. e catingueiras, com ausência de pereiros, vinculada aos domínios espaciais de calcários metamórficos/mármoreos.

A comparação com os dados levantados para áreas de calcários/mármoreos e mica-xistos/gnaisses-baixo grau, não forneceu elementos indicativos de diferenças marcantes de associações florísticas. Apenas constatou-se que o faxeiro normalmente está presente em regiões de mica-xistos, enquanto Lippia sp. e coroa de frade com muitas cabeças, relacionam-se mais com a presença de calcários/mármoreos.

7.4 - Espectrorradiometria

Medidas espectrais em campo, envolvendo as condições superficiais

das principais unidades na área de estudo, foram realizadas na região espectral de 400 a 1050 nm. Em laboratório, curvas espectrais de amostras do horizonte superficial dos solos das unidades, também foram analisadas, para o intervalo espectral de 400 a 1100 nm.

Dois foram os objetivos principais buscados neste esforço: (1) verificar se as diferenças espectrais detectadas a 904 Km de altitude pelo MSS-Landsat, eram passíveis de caracterização e de um melhor entendimento, ao nível de campo e de laboratório; (2) avaliar a contribuição que a espectroscopia de campo e de laboratório forneceria no contexto de discriminação litológica, levando-se em consideração as diferenças de magnitudes de resolução espacial dos diferentes níveis de análise, ou seja, 0,62 ha para o MSS-Landsat, 400 cm² para o radiômetro de campo e 7 cm² para o espectrorradiômetro de laboratório.

7.4.1 - Dados de Campo

Sessenta e cinco medidas de reflectância espectral foram feitas em várias condições superficiais, representativas das unidades realçadas, utilizando-se do radiômetro portátil ABBE SEKKEI, modelo 2701, que fornece leituras discretas de reflectância espectral, para vários comprimentos de onda. Basicamente, o aparelho utiliza dois tipos de fotodetectores: um de GaAsP - sensível à faixa de radiação do visível (400 a 700 nm \pm 25 nm) e outro de Si, para a região do infravermelho próximo (750 a 1050 \pm 50 nm). O campo de visada utilizado foi de 60° (FOV = 60°).

As leituras no aparelho são fornecidas para cada comprimento de onda específico, i. e., 450, 500, 550, 650, 750, 850 e 1050 nm, pela utilização de um conjunto de filtros acoplado ao sistema ótico do radiômetro. Maiores detalhes sobre este radiômetro e sua utilização em campo, podem ser buscados no trabalho de Emori et alii (1972).

A configuração do aparelho exige a utilização de um padrão de reflectância conhecido (fonte de referência), sendo usada na pesquisa uma placa de alumínio com 1 m² de área, coberta por uma película de sulfato de bário. Em operação, o equipamento fornece leituras a partir da relação entre radiância da placa e do alvo. A utilização deste esquema de medida de reflectância normalizada, visa evitar flutuações nos valores de reflectância, ligados às variações de irradiância solar.

O esquema de campo impõe que sejam realizadas 5 medidas para cada comprimento de onda, sendo uma primeira medida na placa padrão; três medidas sucessivas no alvo e novamente uma medida na placa. Tais valores servirão de entrada para o cálculo da reflectância do alvo, segundo a relação:

$$\rho = 10^{-1} (p - m) \cdot 100$$

onde ρ = reflectância percentual
 p = média das medidas no padrão
 m = média das medidas no alvo

Uma discussão é oportuna, envolvendo três considerações sobre a sistemática adotada nas medidas de campo: (1) a definição dos sítios de medidas; (2) a geometria do experimento utilizada; (3) o número de medidas efetuadas.

Em relação ao primeiro tópico, o procedimento de amostragens deveria ser principalmente governado pela necessidade de se obter espectros representativos das unidades geológicas, como realçadas pelo MSS-Landsat. Neste sentido, os locais de medidas foram prioritariamente escolhidos pelas homogeneidades tonais, obtidas nos processamentos digitais. Posteriormente, dentro de cada área homogênea, foram definidos pontos no terreno, a partir de fotos aéreas (com inspeção estereoscópica e uso de lupa de aumento), conciliando-se locais, cujas condições superficiais fossem representativas das unidades e que possuíssem facilidade de acesso por veículo, para transporte do equipamento e placa-padrão.

No que se refere ao segundo tópico, duas suposições são oportunas. Se assumirmos que os alvos naturais seguem um comportamento lambertiano ou difuso, i. e., são superfícies na qual a radiância L é constante para qualquer ângulo de reflexão θ , formado com a normal à superfície; preocupações com a influência da geometria do experimento em campo, não seriam pertinentes. Apesar deste conceito de alvos lambertianos ser geralmente usado, os resultados apresentados por Egbert e Ulaby (1972), indicam que variações significativas em reflectância medida em campo, são constatadas em experimentos em função das diferentes relações angulares envolvidas (θ = ângulo de incidência solar; θ' = ângulo de visada e ϕ = ângulo azimutal, v. Figura 7.25).

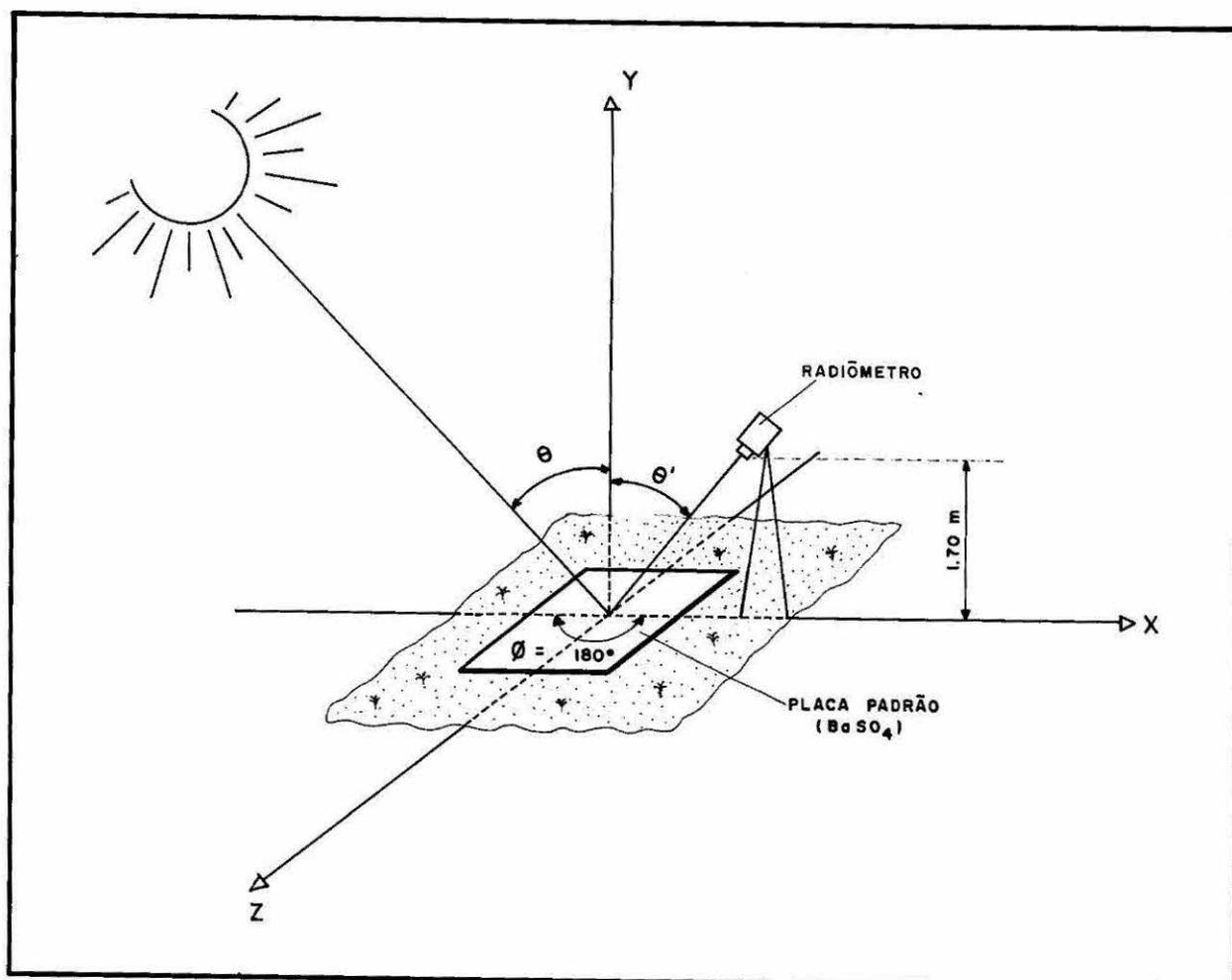


Figura 7.25

Esquema utilizado para a obtenção de medidas radiométricas no campo.

Assim, Slater (1980) mostra que para qualquer valor angular de θ' , sempre se incidirá uma maior intensidade de radiação proveniente do alvo nos detectores, para um $\phi = 180^\circ$.

Isto não significa necessariamente que esta fixação de ϕ em 180° , seja a mais adequada para contrastes de reflectância de alvos, sendo todavia utilizado este valor angular na pesquisa, por ser a situação de melhor relação sinal/ruído na geometria de experimento, como também para conciliar o valor angular de ϕ utilizado em laboratório, onde a fonte é colocada a 180° do espectralradiômetro.

Para θ' , foi utilizado um ângulo de visada próximo a 45° , definido em função da altura média do observador e da necessidade da visada no centro da placa-padrão com 1 m^2 de área.

O único valor angular não fixado no experimento foi θ , pela im-

possibilidade de se realizar medidas sempre em um mesmo horário, o que demandaria um longo período de campanha de campo. Para atenuar em parte, a influência de um componente algo "especular" na resposta final, ligado a ângulos solares elevados, procurou-se, no possível, concentrar as medidas no intervalo das 9:30 - 14:30 horas.

Com a geometria discutida, a resolução espacial no terreno se situou em torno de 400 cm², dada pela área de uma elipse com eixo maior, de 26,7 cm e eixo menor, de 19 cm.

Finalmente, quanto ao terceiro tópico, ou seja, ao número de medidas julgadas representativas das unidades, parece óbvio que este valor dependerá circunstancialmente, do grau de heterogeneidade da superfície dos alvos.

A maior parte dos trabalhos que enfocam espectroscopia de campo em aplicações geológicas, não discute com profundidade este aspecto (Goetz et alii, 1975; Longshaw, 1976; Rowan et alii, 1977; Rowan and Abrams, 1978; Conel et alii, 1978). Marsh e Lyon (1980) concluem, segundo critérios estatísticos, que 9 a 20 medidas, com 95% de probabilidade, seriam idealmente adequadas para caracterizar o elemento de resolução do MSS-Landsat, relacionando-se estes valores a terrenos homogêneos e heterogêneos, respectivamente.

Estes números correspondem a situações de abordagens quantitativas, onde se buscam comparações entre os valores numéricos de radiância, obtidos nas imagens e valores respectivos coletados em campo, nas mesmas condições de coleta, i. e., em tempo real.

Embora a quantidade de medidas obtida no terreno, no Baixo Vale do Curaçá, não seja suficiente para tratamentos quantitativos do tipo análise estatística por funções lineares discriminantes, como usado por Conel et alii (1978), os padrões de reflectância discutidos a seguir, são representativos de condições superficiais das unidades litológicas, servindo como uma base inicial para ilustrar razoavelmente as discrepâncias espectrais, passíveis de detecção e caracterização a nível de campo destas superfícies.

Os gráficos discutidos a seguir, são normalmente mostrados por uma curva média, traçada pelo plotter CALCOMP, do computador Burroughs/6800, do INPE/CNPq, calculada a partir da média dos pontos de reflectância, medidos nos comprimentos de onda de 400, 500, 550, 600, 650, 750, 850 e 1050 nm. As barras verticais na curva, denotam o intervalo correspondente a um desvio padrão em relação à média.

Na Tabela 7.3, são fornecidas as características de cada ponto medido (unidade geológica, unidade pedológica, localização, número de espectros tomados, horário médio das medidas).

Na Figura 7.26, estão plotadas as médias e seus respectivos desvios-padrões (± 1 sigma, 68,27% de probabilidade, assumindo-se condições de distribuição normal das medidas de reflectância) de 9 e 6 espectros de reflectância "in situ", obtidos para as unidades TN Bogô (pontilhado) e Oriental (tracejado), respectivamente. Com traço e ponto está representada a curva de 4 espectros de reflectância, medidos sobre um vertissolo originário de rocha gábrica, ilustrando a tendência de comportamento geral de reflectância para a maioria de mafitos na área-teste (padrão azulado/negro, na Figura 5.8).

A análise do espectro de campo da Unidade TN Bogô, indica a presença de uma banda de absorção centrada em $0.5 \mu\text{m}$, ligada a processos de transferência de carga, com íon fêrrico, provavelmente vinculada à participação de limonita. A ausência de bandas de absorção nestes espectros, ligadas à presença de hematita em $0.85 \mu\text{m}$ e goethita em $0.93 \mu\text{m}$, pode estar mais relacionada à largura exagerada das faixas de sensibilidade do aparelho, inviabilizando a comprovação destas bandas, pela ausência de sensibilidade espectral de um modo mais contínuo e não tão discreto, como visto nos gráficos.

Para a Unidade gnáissica "oriental", o espectro médio obtido, mostra apenas uma suave mudança do gradiente da curva entre 550-600 nm, ao passo que para o solo de alteração do gabro, o espectro médio coletado não mostra qualquer feição diagnóstica.

De modo geral, a análise integrada dos 3 conjuntos de espectros, da Figura 7.26, mostra que um maior gradiente (declividade) e maior reflectância geral, associam-se com a Unidade TN Bogô. Estas características são parcialmente mantidas no comportamento espectral na Unidade Oriental e são muito reduzidas, quando se analisa a curva média de reflectância espectral do Vertissolo do gabro.

Tais dados indicam que as Unidades TN Bogô e Oriental, apresentam respostas mais similares, coincidentes na maior parte do "range" espectral medido, com possibilidade de discriminação apenas na faixa do infravermelho. Isto reforça a idéia anterior de que o componente vegetação, na área da Unidade Oriental, imprima uma contribuição efetiva na separabilidade desta unidade com as outras na área, na medida em que o melhor realce para

Tabela 7.3 - Características dos pontos de medidas radiométricas de campo.

UNIDADE GEOLÓGICA	UNIDADE PEDOLÓGICA	LOCALIZAÇÃO DAS MEDIDAS	Nº DE ESPECTROS TOMADOS	INTERVALO DE HORÁRIO DAS MEDIDAS
TN Bogó	Planossolo Vértico	área da trincheira T ₁	9	12:45-13:15
GCmc (mármore/calcário)	Latosolo	área da trincheira T ₂	05	14:45-15:25
RC Cachoeira	Bruno Não Cálculo Vértico Planossólico	área da trincheira T ₁₉	06	9:30- 9:50
RC Cachoeira	Bruno não Cálculo Típico	área da trincheira T ₁₂	07	10:50-11:20
RC Cachoeira	Bruno Não Cálculo Planossólico ligeiramente Vértico	área da trincheira T ₁₆	07	14:00-14:45
TN Banguê	Bruno Não Cálculo Vértico	área da trincheira T ₅	05	11:50-12:05
TN Banguê	Bruno Não Cálculo Vértico Planossólico	área da trincheira T ₁₈	05	10:15-10:45
TN Banguê	Bruno Não Cálculo Vértico	área da trincheira T ₁₇	07	9:30:10:20
TN Banguê	Vertissolo	dique gabro, 2 Km a W da F. Monte Alegre	04	12:45-13:15
Unidade Oriental	Planossolo com tendência Vértica	área da trincheira T ₁₅	04	11:30-11:45
Unidade Oriental	Planossolo Vértico	área da trincheira T ₁₃	02	11:30-11:35
GCfx (xisto)	Planossolo derivado de mica-xistos	estrada Fazenda Melancia/Curaça, 13 Km apos Fazenda Melancia	02	11:30-11:35
GCfx (filito carbonático)	Litólico	área da trincheira T ₉	02	10:10- 10:15

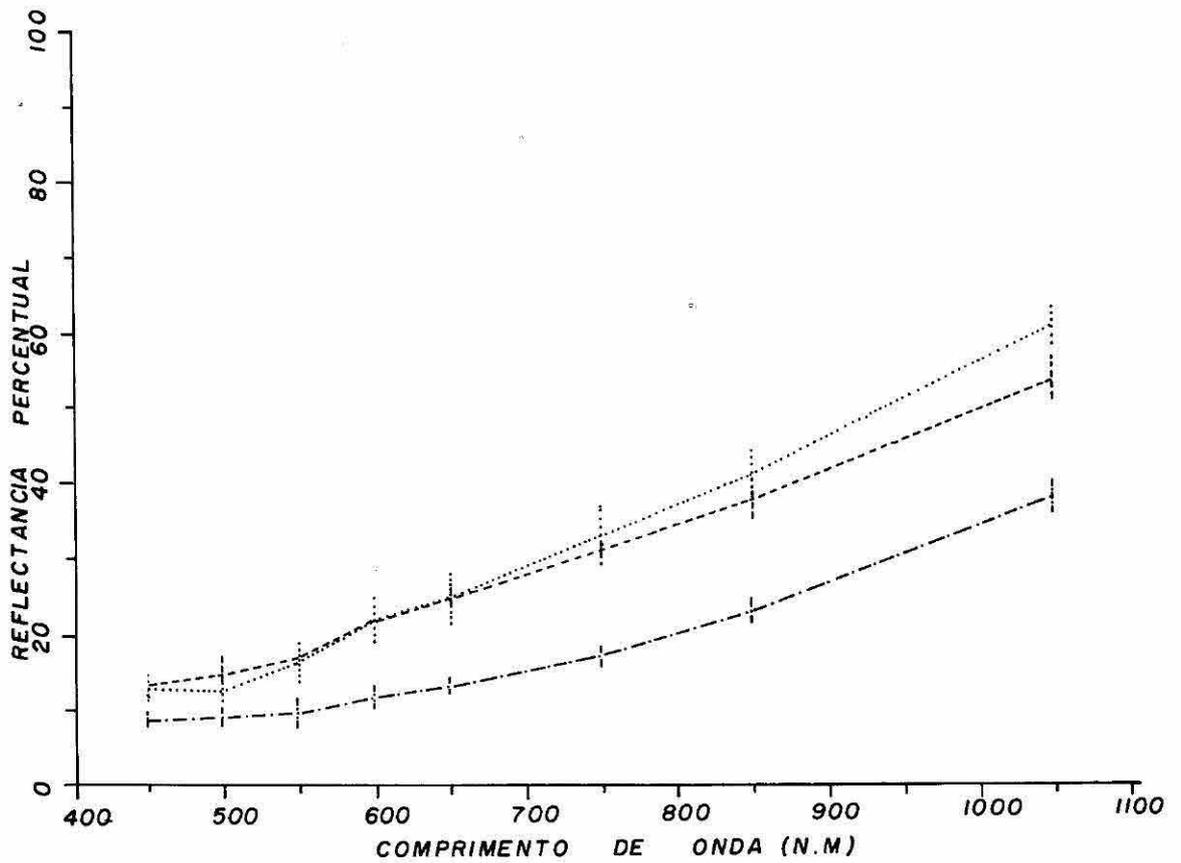


Figura 7.26

Perfis de reflectância espectral de campo para 9 medidas na Unidade TN Bogô (pontilhado); 6 medidas na Unidade Gnaíssica "Oriental" (tracejado) e 4 medidas em um Vertissolo de gabro (traço e ponto). As barras verticais indicam ± 1 desvio-padrão em relação à média.

esta unidade foi obtido para a passagem Landsat de fevereiro de 1979, período de chuva.

Qualquer que seja o intervalo analisado, as respostas das unidades TN Bogó e Oriental, não se superpõem com o campo abrangido pela unidade gábrica.

Os comportamentos detectados são condizentes com as composições destas unidades, onde a maior presença de ferro e opacos, controlaria a menor reflectância e ausência de feições diagnósticas no espectro da unidade máfica e as variações no caráter mais ou menos "félsicos" nas duas unidades gnáissicas, responderiam pelas discrepâncias observadas. Em adição, convém salientar que tais padrões são coerentes com as respostas realçadas na Figura 5.8, onde as unidades TN Bogó e Oriental são de níveis tonais mais elevados, contrastando-se bem com as faixas de mafitos com coloração azulada.

Na Figura 7.27, são apresentados os espectros de reflectância de campo com seus respectivos desvios para 3 regiões, distintamente realçadas na imagem de Componentes Principais da Figura 5.22, mapeadas previamente como pertencentes à extensão espacial da Unidade TN Banguê.

Assim, a curva inferior em traço e ponto, corresponde à média de 5 espectros tomados a SW da Lagoa dos Morros (T_5), na faixa azulada típica de TN Banguê da Figura 5.22; em tracejado, tem-se a média de reflectância espectral de 5 medidas realizadas para a faixa TN Banguê a NW da Serra Redonda (T_{18}), na interface de tons azulados com magenta da imagem realçada de referência e, finalmente, em pontilhado, está representada a curva média de 7 espectros de campo, obtidos próximos à Fazenda Harmonia (T_{17}), na área da "elipse" esbranquiçada da Figura 5.22.

A análise dos espectros na Figura 7.27, indica comportamentos espectrais diferentes para as três regiões, com maior similaridade na tendência geral para as curvas com traço e ponto, e tracejado, que se superpõem na maioria dos intervalos medidos, sendo só separáveis no infravermelho próximo. Em adição, estas duas curvas denotam um certo paralelismo no traçado de seus comportamentos, até a região de 850 nm.

O padrão em traço e ponto apresenta-se sem feições de absorção diagnósticas, em comparação com os outros espectros discutidos, o que pode indicar a presença de opacos (magnetita, ilmenita), reduzindo a reflectância geral e inibindo as feições diagnósticas de absorção da energia incidente.

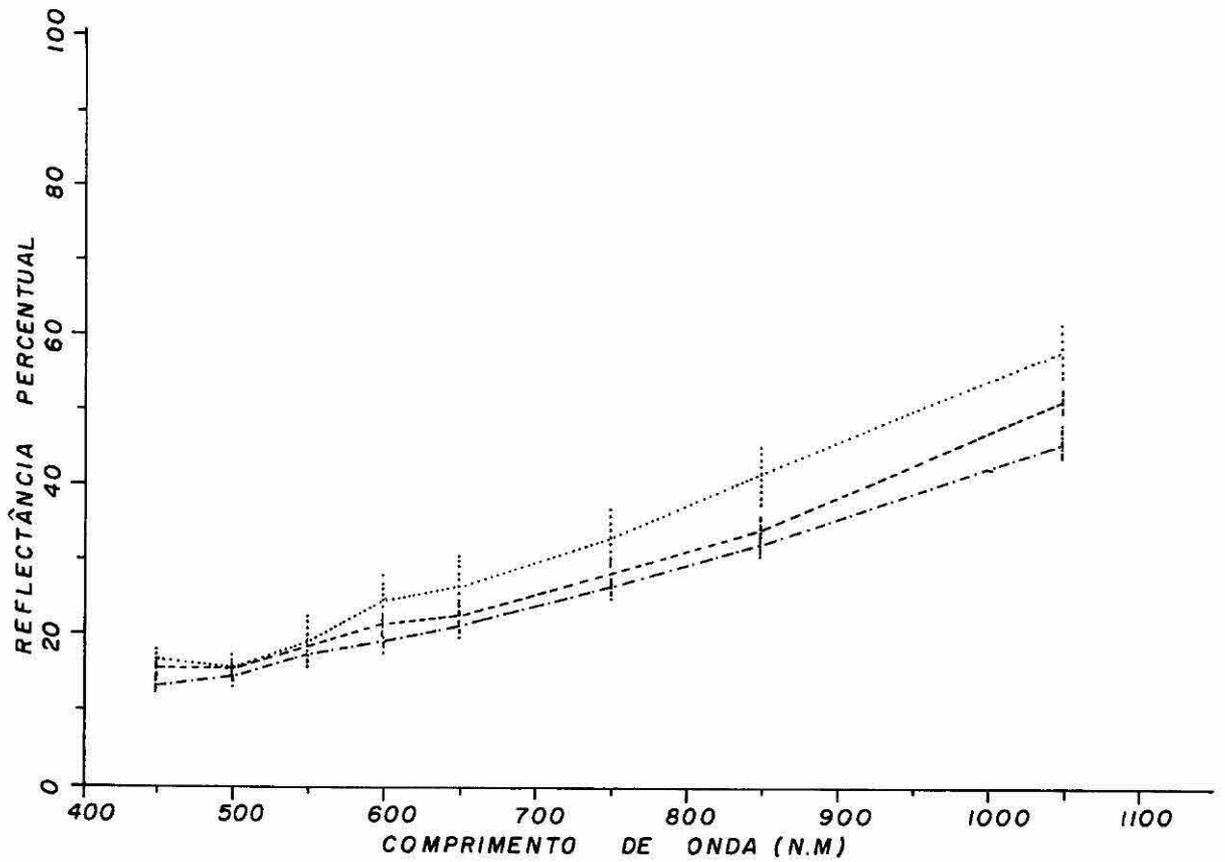


Figura 7.27

Espectros de reflectância de campo, com seus respectivos desvios-padrões, para as Unidades TN Banguê (traço e ponto, e tracejado) e área de migmatização/granitização (pontilhado), próxima à Fazenda Harmonia.

Para os espectros em tracejado e pontilhado, principalmente este último, é possível identificar regiões de absorção ligadas ao íon fêrrico, centradas em 500 nm.

A discriminação entre os três conjuntos de espectros de reflectância, seria possível para a faixa do infravermelho próximo, com maior contraste ocorrendo entre os perfis tomados na Fazenda Harmonia e na Unidade TN Banguê, a SW da Lagoa dos Morros (curvas em pontilhado, e traço e ponto, respectivamente).

Os três conjuntos de espectros de campo mostram condições superficiais distintas, com uma menor reflectância para a região "típica" de TN Banguê, um padrão intermediário para a continuidade desta mesma unidade, a NW da Serra Redonda e um padrão de resposta espectral mais elevado para a região gnáissica/migmatítica.

Tais dados concordam razoavelmente com os contrastes obtidos no processamento digital, quer considerando-se a imagem da Figura 5.22, onde estas áreas são de tonalidades distintas, ou mostrando variações de matiz, quer analisando-se a composição falsa-cor da Figura 5.8, onde o maior contraste tonal ocorre entre a região azulada de TN Banguê (SW da Lagoa dos Morros) e a zona esbranquiçada de migmatitos/gnaisses da Fazenda Harmonia.

Na Figura 7.28, estão representados 3 padrões de reflectância de campo, obtidos para a Unidade RC Cachoeira, realçados na Figura 5.22, pelas nuanças de magenta-cian-branco, indicando, como já discutidos anteriormente, heterogeneidades espectrais. Na Figura 7.28, o espectro em pontilhado corresponde a 7 medidas realizadas na área de migmatitos da Fazenda Monte Alegre (T₁₆); em tracejado, tem-se o espectro médio de 7 medidas para a região de migmatitos, com núcleos graníticos a microclina, nas cabeceiras do Riacho do Ligeiro (T₁₂); e em traço e ponto, o espectro médio de 6 medidas para migmatitos, ao sul de Lagoa Seca (T₁₉).

As 20 medidas "in situ", realizadas em 3 pontos distintos da unidade, mostram uma grande variabilidade nas respostas, representadas pela maior amplitude da maioria dos desvios-padrões da Figura 7.28 e a presença de bandas de absorção centradas em 500 nm, ligadas a processos de transferência de carga em íons fêrricos.

Dentro da probabilidade de ± 1 desvio-padrão, apenas seriam viáveis as discriminações entre as regiões do Riacho do Ligeiro (espectro em tracejado) e sul de Lagoa Seca (espectro em traço e ponto), isto somente para as faixas espectrais dos canais 5 e 6 do MSS-Landsat, dadas pela au-

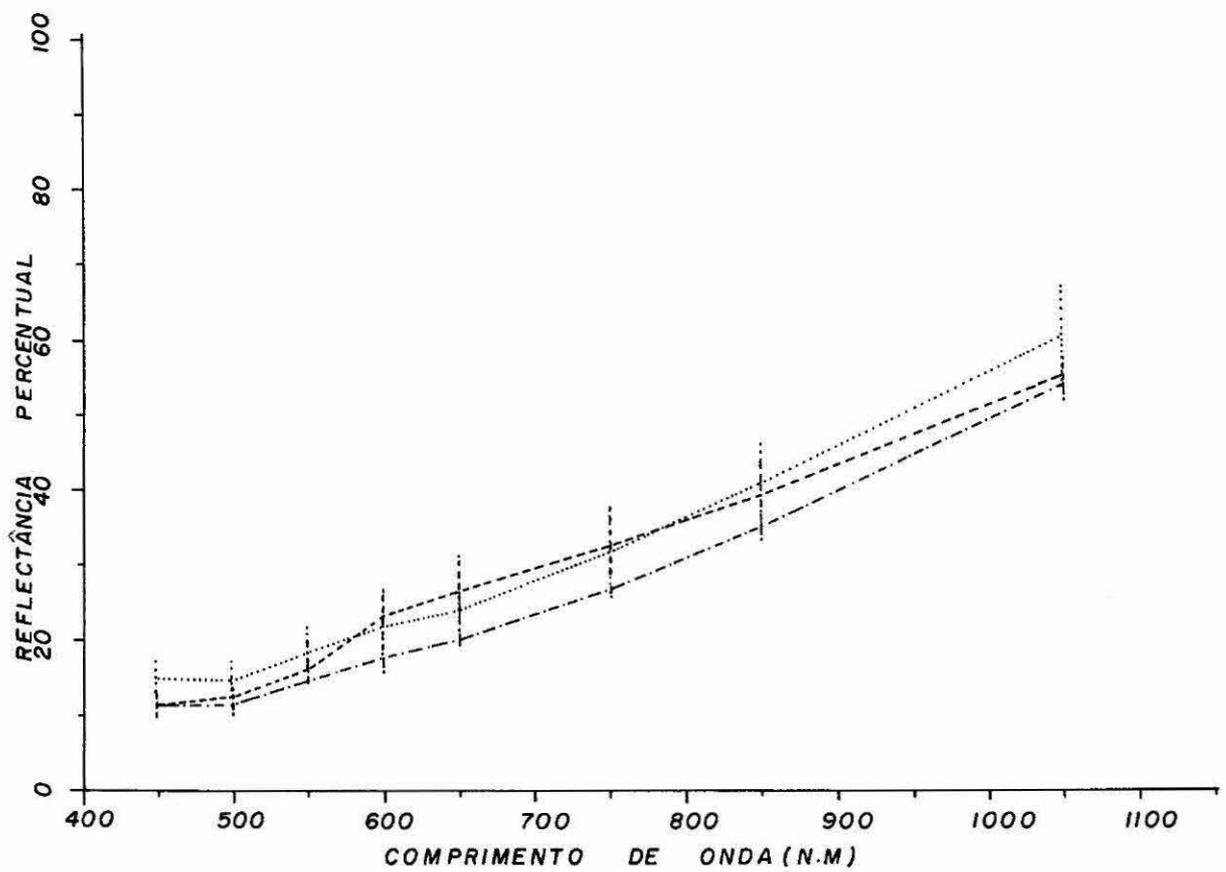


Figura 7.28

Perfis espectrais "in situ", para a Unidade RC Cachoeira, sendo em pontilhado, 7 medidas tomadas na área da Fazenda Monte Alegre; em tracejado, 7 medidas realizadas nas cabeceiras do riacho do Ligeiro; e em traço e ponto, 6 medidas efetuadas ao sul da Lagoa Seca.

sência de superposição das curvas nos intervalos centrados em 650 e 750 nm.

Estes pontos de medidas na composição colorida da Figura 5.22, correspondem respectivamente às áreas com tons brancos e magenta/branco/azul, e na Figura 5.8 às zonas predominantemente esbranquiçadas e branco com nuances azuladas, estando associadas geologicamente a sítios com substrato de microclina-granitos e migmatitos.

O padrão espectral em pontilhado, dispõe-se com notável paralelismo ao espectro médio em traço e ponto, indicando áreas com características similares de reflectância e variação de albedo. As litologias predominantes nas regiões de tomadas destes dois grupos de espectros, são restritas a migmatitos com estruturas variáveis.

O padrão que parece mais discrepante no conjunto, seria o correspondente ao microclina granito, com um comportamento de baixa reflectância na região do azul, que se eleva na faixa do amarelo ao vermelho, seguido por um menor gradiente no infravermelho. Para esta litologia, os dados espectrais de campo podem ter sido influenciados também pela presença de uma cobertura parcial de seixos de quartzo e blocos de rocha na superfície.

Em síntese, os dados espectrais de campo desta unidade, mostram uma grande variabilidade de respostas, provavelmente vinculadas a um substrato migmatítico heterogêneo, onde variáveis proporções de leucossomas, melanossomas, núcleos de granitização e microclina e intercalações máficas/cálcico-silicáticas configurariam a diversificação de heterogeneidades intrínsecas da unidade. Esta diversificação é passível de detecção em campo, constituindo padrões superpostos e mais complexos em comportamentos em imagens pelas nuances de magenta-cian e branco, bem realçadas na imagem dos Componentes Principais da época seca.

Na Figura 7.29, estão representados: em tracejado, a média de espectro de reflectância, com seus respectivos desvios para 5 perfis, obtidos na unidade mármore/calcário GCmc, e em pontilhado e em traço e ponto, as médias de espectros com valores mínimos e máximo para 2 medidas, obtidas sobre solo de filitos carbonáticos e 2 medidas coletadas em solos de mica-xistos, ambos da unidade GCfx.

Nestes espectros, são notados os padrões de queda de reflectividade em direção à região do azul, especialmente do calcário/mármore, ligada à presença de íons fêrricos e uma banda de absorção suave, centrada em 850 nm, na curva correspondente ao mica-xisto, relacionando-se provavelmente a processos de transições eletrônicas com a presença de Hematita. Desco-

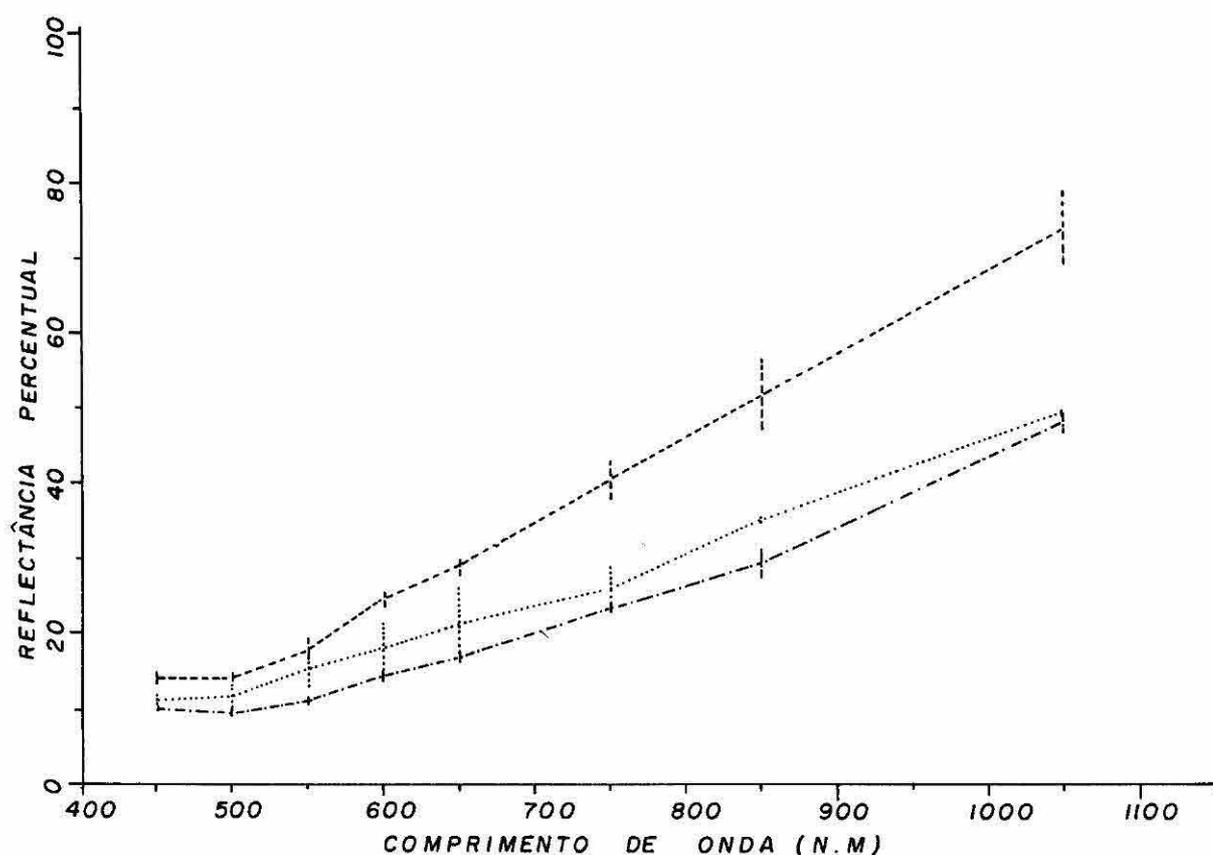


Figura 7.29

Espectros de reflectância de campo para medidas na Unidade Gcmc, sendo: em tracejado = 5 medidas em calcário; em pontilhado = 2 medidas em filitos, e em traço e ponto = 2 medidas em mica-xistos.

nhece-se a causa da inflexão centrada em 750 nm, no espectro correspondente ao solo do filito carbonático.

Os padrões obtidos indicam uma separabilidade entre os três comportamentos espectrais, com um grande contraste entre o espectro do calcário/mármore, para os espectros do conjunto filito e mica-xistos.

Entretanto, é importante reconhecer que este contraste possa em parte, ter sido influenciado pelo elevado ângulo solar do horário de medidas no calcário/mármore, quando um componente de reflexão "algo especular" tenderia a elevar a resposta medida, principalmente na faixa do infravermelho próximo.

A separabilidade entre os espectros de filitos e mica-xistos, é possível para os comprimentos de onda de 550 a 850 nm. Cabe entretanto aqui uma outra ressalva. Estas duas unidades se contrastam bem nas imagens, mais por variações de densidade de cobertura vegetal e percentagens de recobrimento do solo por fragmentos de rochas e seixos de quartzo, que propriamente por discrepâncias espectrais intrínsecas de comportamento.

Estes dois fatores, quando integrados à resposta representada na Figura 7.29, tenderiam a abaixar esta curva em traço e ponto, e seriam responsáveis pelos elevados contrastes, nas imagens MSS-Landsat, entre as áreas de mica-xistos e filitos.

Os gráficos das Figuras 7.30 e 7.31 são fundamentais para explicar melhor, várias relações obtidas no trabalho e tornar clara a importância da espectroscopia de campo, como sustentação científica dos padrões realçados nas imagens MSS-Landsat.

Na Figura 7.30, estão representados, em diferentes símbolos, a média de espectros de reflectância e seus respectivos desvios-padrões, de condições superficiais das seguintes unidades geológicas da área de estudo, assim referenciadas: linha contínua (traçado inferior) = gabro; traço e ponto = gnaisses-granulíticos TN Banguê; tracejado = gnaisse Oriental; pontilhado = gnaisse TN Bogô; linha contínua (traçado superior) = mármore / calcário GCmc.

Na Figura 7.31, foi adicionada em traço e ponto, a média de 20 espectros, obtidos para a unidade migmatítica RC Cachoeira, às mesmas curvas da figura anterior, porém com algumas modificações nas simbologias das curvas, para facilidade de visualização. Assim, a notação dos espectros da Figura 7.31 seria: linha contínua (superior) = Unidade GCmc; traço e ponto = RC Cachoeira; pontilhado = TN Bogô; tracejado (superior) = gnaisse Ori-

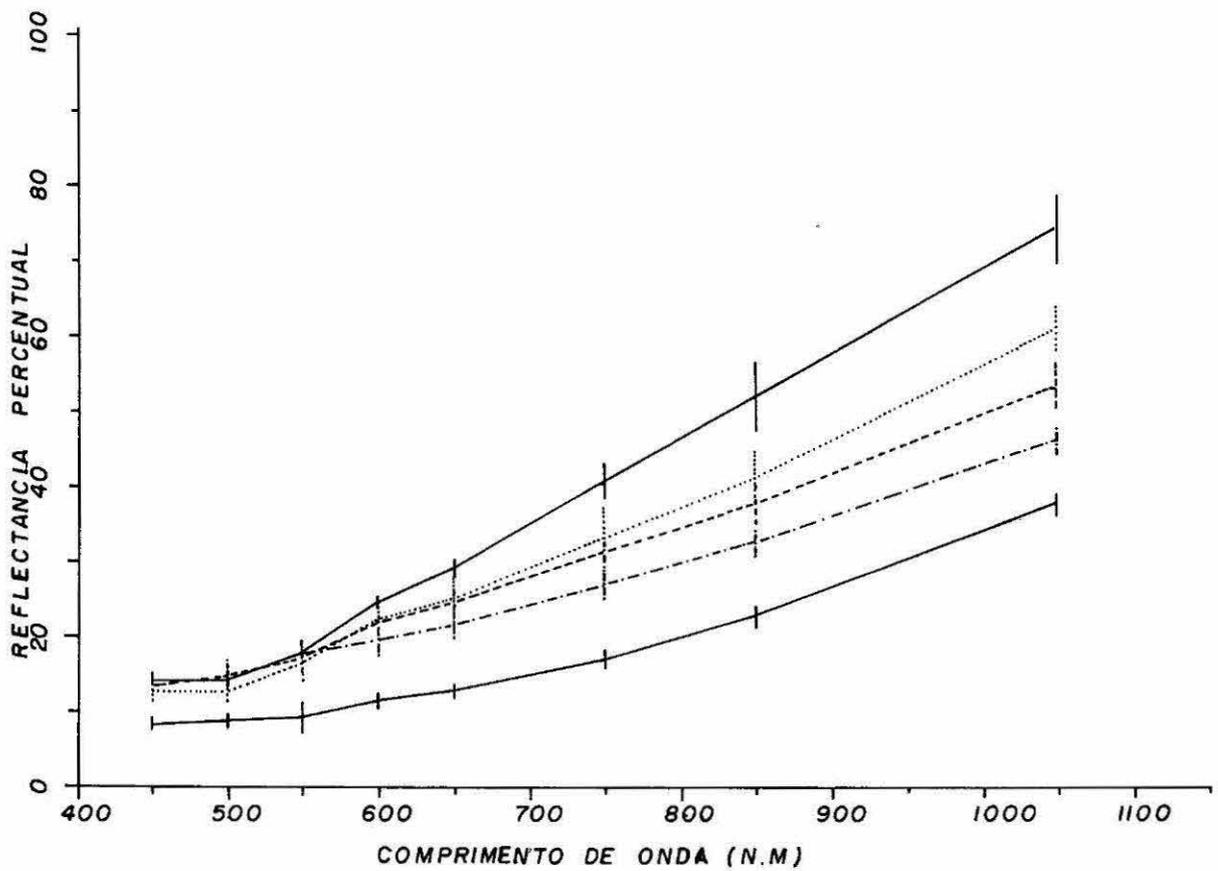


Figura 7.30

Espectros de reflectância de campo para as unidades: gabro = linha contínua (inferior); gnaisses granulíticos TN Banguê = traço e ponto; gnaisse "oriental" = tracejado; gnaisse TN Bogô = pontilhado; mármore / calcário GCmc = linha contínua (superior).

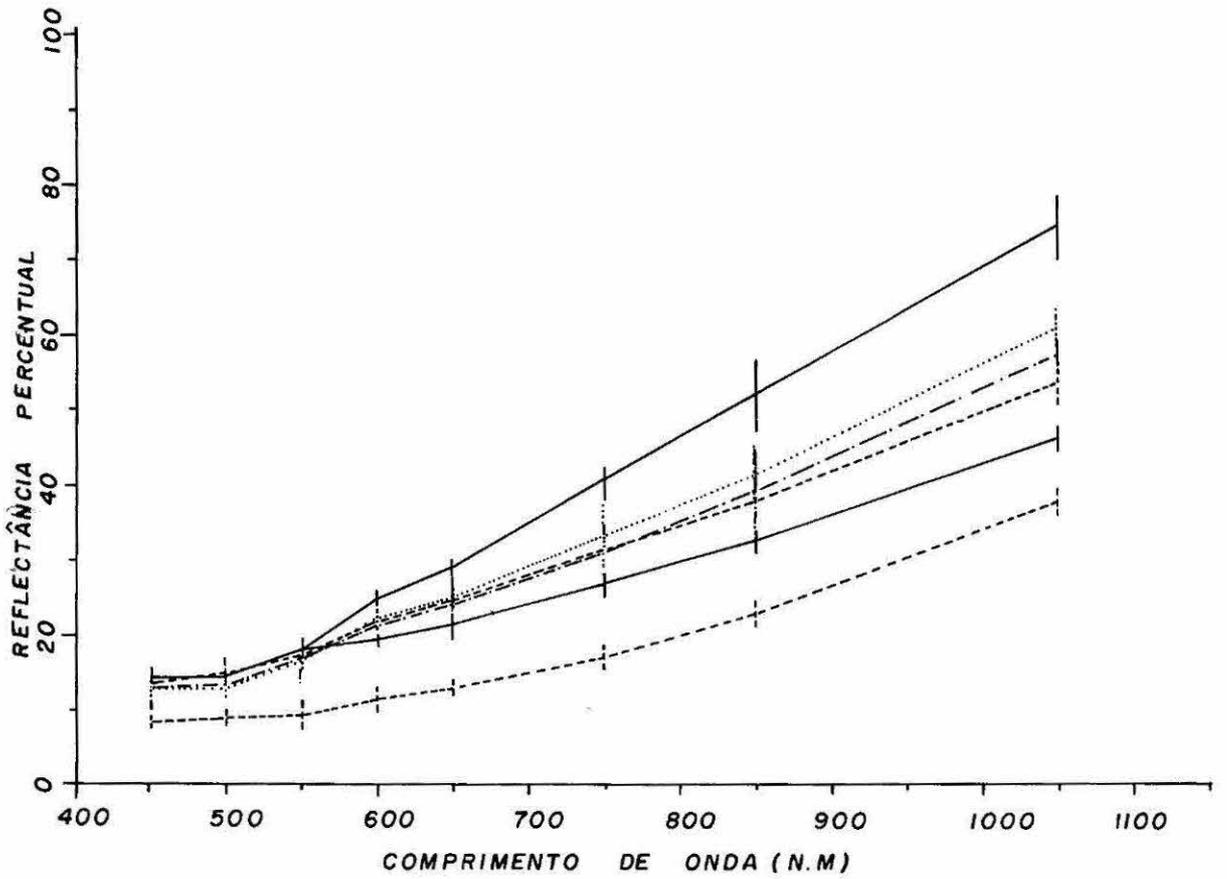


Figura 7.31

Espectros de reflectância de campo para as unidades: GCmc = linha contínua (superior); RC Cachoeira = traço e ponto; TN Bogô = pontilhado; gnaisse "oriental" = tracejado (superior); TN Banguê = linha contínua (inferior) e gabro = tracejado (inferior).

ental; linha contínua (inferior) = TN Banguê; e tracejado (inferior) = gabro ofítico.

Os padrões de respostas obtidos nestes dois conjuntos de gráficos, permitem considerações importantes.

Inicialmente, as unidades TN Banguê, TN Bogô, Oriental e Metamafitos, são discrimináveis por seus atributos espectrais de superfície, dentro de uma probabilidade de 67,28% ou ± 1 desvio-padrão em relação às médias de reflectância medidas.

Em relação à Unidade GCmc, permanece a dúvida sobre o nível de influência do elevado ângulo solar na resposta espectral obtida, sendo considerada à luz dos dados das Figuras 7.30 e 7.31, uma unidade com elevado contraste de discriminação em relação às outras unidades analisadas.

Uma segunda constatação importante refere-se à disposição dos espectros do Grupo Caraíba, dispostos nos dois gráficos em campos preferenciais, diretamente vinculados às suas diferentes afinidades máficas/félsicas.

Assim, a Unidade TN Banguê, com grande intercalação de metamafitos, situa-se na região de mais baixa reflectância; a Unidade Oriental, em um campo intermediário e a Unidade TN Bogô, reconhecidamente de afinidade mais félsica, ocorre no patamar de mais elevada reflectância, nos gráficos da Figura 7.30. A Unidade RC Cachoeira, de caráter mais diversificado, prioritariamente ocorre entre os padrões Oriental e TN Bogô, com tendência de maior reflectância que a Unidade Oriental (Figura 7.31).

Esta visualização de tendências nestes gráficos, quando transportada para os padrões de comportamento espectral da Figura 5.8, ajusta-se extremamente bem, onde a tonalidade azulada, de baixa reflectância, associa-se a mafitos e a TN Banguê, o padrão tonal esverdeado-esbranquiçado à Unidade Oriental e as faixas RC Cachoeira e TN Bogô são similares nas suas graduações esbranquiçadas. Tais premissas de comportamento já tinham sido "empiricamente" levantadas e discutidas na análise dos produtos "ratio" da Figura 5.15 e são agora coincidentes, a nível de campo, em um sentido amplo.

Tais fatos evidenciam que os comportamentos espectrais no campo e nos produtos de satélite, são compatíveis e que as características de alteração das várias unidades, mantêm suas identidades próprias, permitindo, através de informações indiretas, via assinatura espectral, diferenciar domínios do substrato litológico na área, condizentes com os dados prévios.

Finalmente, como terceira constatação, tais padrões espectrais das Figuras 7.30 e 7.31, explicam o porquê do canal MSS-7 ser considerado o mais importante canal, na discriminação intrínseca do segundo Componente Principal (Matriz de Auto-Vetores, Tabela 5.5), na medida em que a maior parte das discriminações entre as unidades, ocorre neste intervalo do espectro.

7.4.2 - Dados de Laboratório

Para a realização das medidas espectrais de laboratório, foi usado o protótipo de um espectrorradiômetro, desenvolvido no INPE/CNPq, cujas especificações técnicas são:

- . intervalo espectral = 400 a 1100 nm
- . largura das faixas espectrais = 8 nm
- . aberturas angulares disponíveis = 30°, 10°, 20' e 6'
- . largura das faixas dos filtros = 12,5 nm

O conjunto do equipamento envolve:

- a) um telescópio de alta eficiência e precisão radiométrica, modelo 2020-31, da Gamma Scientific Incorporated;
- b) um monocromador, modelo NM-3/5, da Gamma Scientific Incorporated;
- c) um detector de silício, desenvolvido no INPE/CNPq, em São José dos Campos/SP;
- d) um registrador, modelo RB 102, ECB - Equipamentos Científicos do Brasil Ltda;
- e) um multímetro digital, modelo 3466A, da Hewlett-Packard.

Bandones (1982) fornece maiores detalhes sobre este espectrorradiômetro.

Nove amostras de solo, coletadas nos centímetros superiores do terreno, nas trincheiras pedológicas das várias unidades, foram secas ao ar livre por 48 horas e colocadas em recipientes de PVC, com 18 centímetros de diâmetro, semelhante às placas de Petri de laboratório químico. Tomou-se o cuidado previamente de se pintar cada recipiente, com tinta preta fosca, a fim de que não houvesse reflexão de fundo, durante as medidas espectrorradiométricas, interferindo nos valores de reflexão obtidos.

Como fonte de radiação, foi utilizado um Simulador Solar, produzido pela Oriel Corporation Ltda, USA, o qual emite energia de comportamen-

to semelhante à luz solar.

A geometria do experimento é mostrada na Figura 7.32.

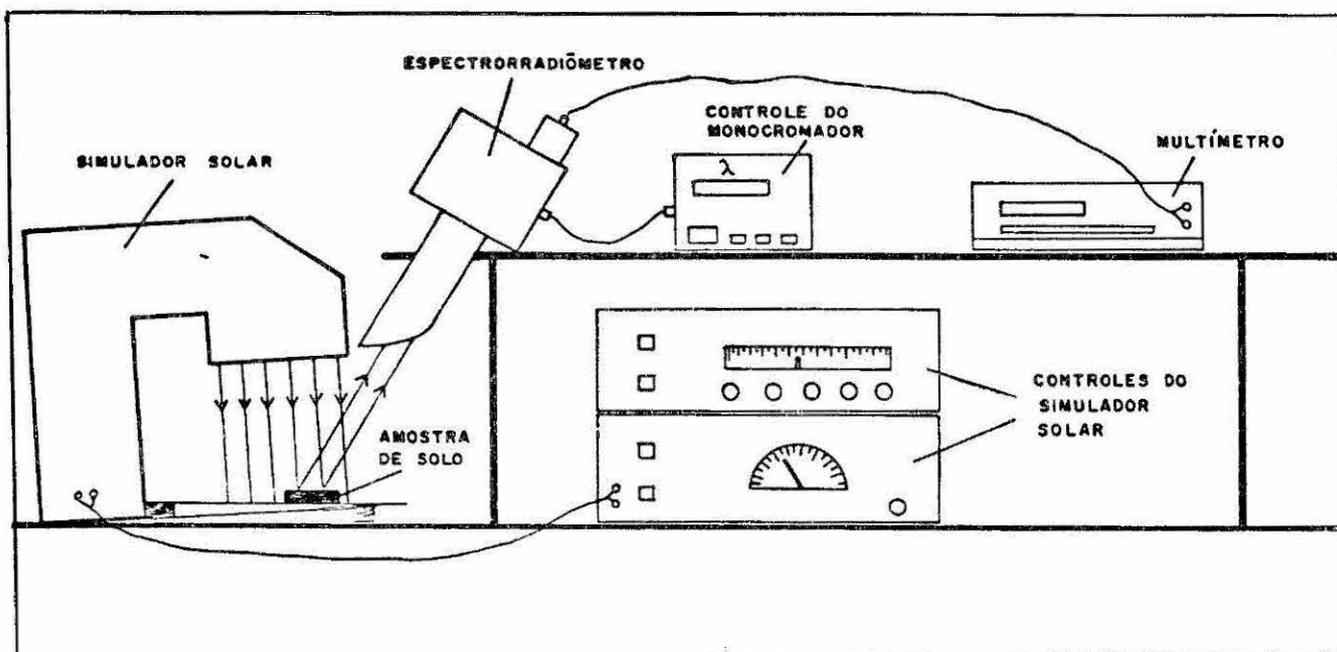


Figura 7.32

Configuração do sistema de equipamentos montado para a obtenção das medidas espectrorradiométricas das amostras de solos, em laboratório.

O ângulo de incidência θ da radiação sobre as amostras, como também o ângulo de visada θ' do radiômetro, foi de aproximadamente $5,7^\circ$. O ângulo azimutal ϕ , como discutido anteriormente, foi fixado em 180° .

Como referência, foi utilizada uma placa-padrão de cartolina branca, sobre a qual foi depositada uma camada de óxido de magnésio, a qual, juntamente com o sulfato de bário, são consideradas difusoras da energia eletromagnética natural, i. e, assumem um caráter de superfície lambertiana.

A abertura angular do telescópio foi de 30° , estando distante 60 cm da amostra. Isto fornece um campo de visada estimado em $7,0 \text{ cm}^2$ (resolução espacial).

O procedimento de leitura no laboratório incluiu uma medida na amostra, para todo o intervalo de 400 a 1100 nm, com tomada a cada 25 nm,

i. e, obtendo-se um espectro de reflectância quase contínuo, compensando o caráter discreto das medidas de campo.

Os valores de reflectância correspondem a relações entre os valores medidos na amostra, pelos valores medidos na placa-padrão, para cada 25 nm varrido.

Na Figura 7.33, são mostrados os espectros de reflectância, obtidos no laboratório, para as unidades TN Bogô (pontilhado) e Oriental (linha contínua).

De modo geral, os espectros são bem similares, com grande superposição para as regiões de 600 a 800 nm (bandas 5 e 6 do MSS-Landsat) e com maior separabilidade ocorrendo no infravermelho próximo.

As feições de absorção centradas em 870 nm, para a Unidade Oriental e em 1.080 nm para a Unidade TN Bogô, são aqui interpretadas como ligadas provavelmente a processos eletrônicos com o íon fêrrico e a efeitos de campo cristalino na presença de íons ferrosos, respectivamente.

Os dois tipos de padrões de curvas se enquadrariam no Tipo II de curvas, proposto por Condit (1970).

A comparação entre os espectros de campo e de laboratório, indica um padrão similar de comportamento para os dois conjuntos de dados, no intervalo de 400 a 850 nm, sendo que na faixa do infravermelho, o comportamento torna-se ambíguo com uma maior reflectância para a Unidade TN Bogô, no campo e padrão inverso, em laboratório.

Como os dados de campo se ajustam melhor com as relações tonais extraídas das imagens e, principalmente, pela presença em superfície de blocos e fragmentos de rocha na unidade "oriental", cuja influência é obviamente desconsiderada na leitura de laboratório, os dados de campo são aqui considerados mais representativos (pelo caráter mais realístico que exprimem), das condições superficiais destas unidades. O valor dos espectros de laboratório está na definição de bandas de absorção, que dispostas diferentemente nos espectros, são indicativas de diferenças composicionais ligadas à participação de íons fêrricos e ferrosos.

Os dados apresentados aqui são sugestivos apenas, devendo ser comprovados com estudos definitivos a partir de análises químicas e espectrais da rocha com os solos dela derivados.

Na Figura 7.34, são mostrados com traço e ponto, um espectro de reflectância de laboratório, representativo da Unidade TN Banguê, (T₅)

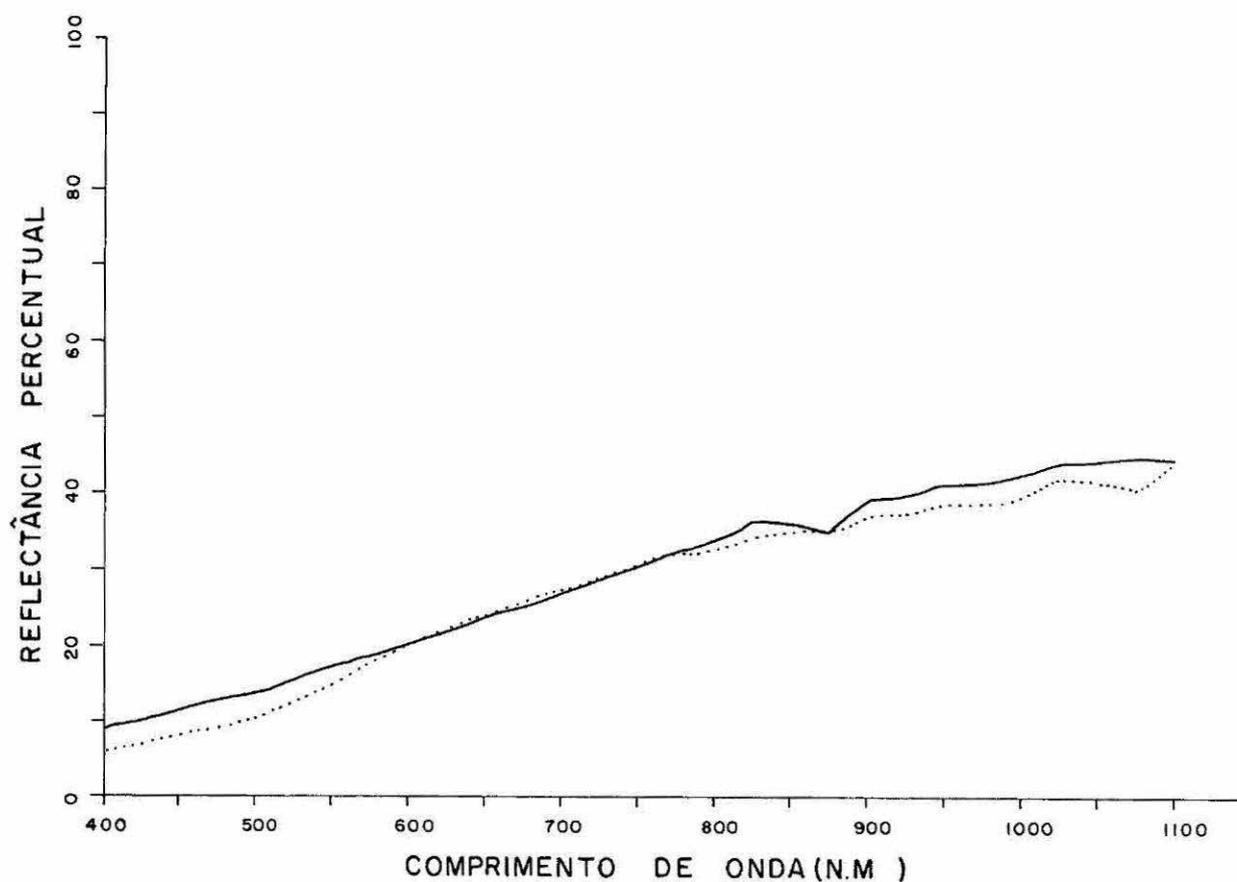


Figura 7.33

Espectros de reflectância em laboratório, para amostras de solos das unidades TN Bogô (pontilhado) e gnáissica "oriental" (linha contínua). Os locais de amostragens foram as trincheiras T1 e T15, respectivamente.

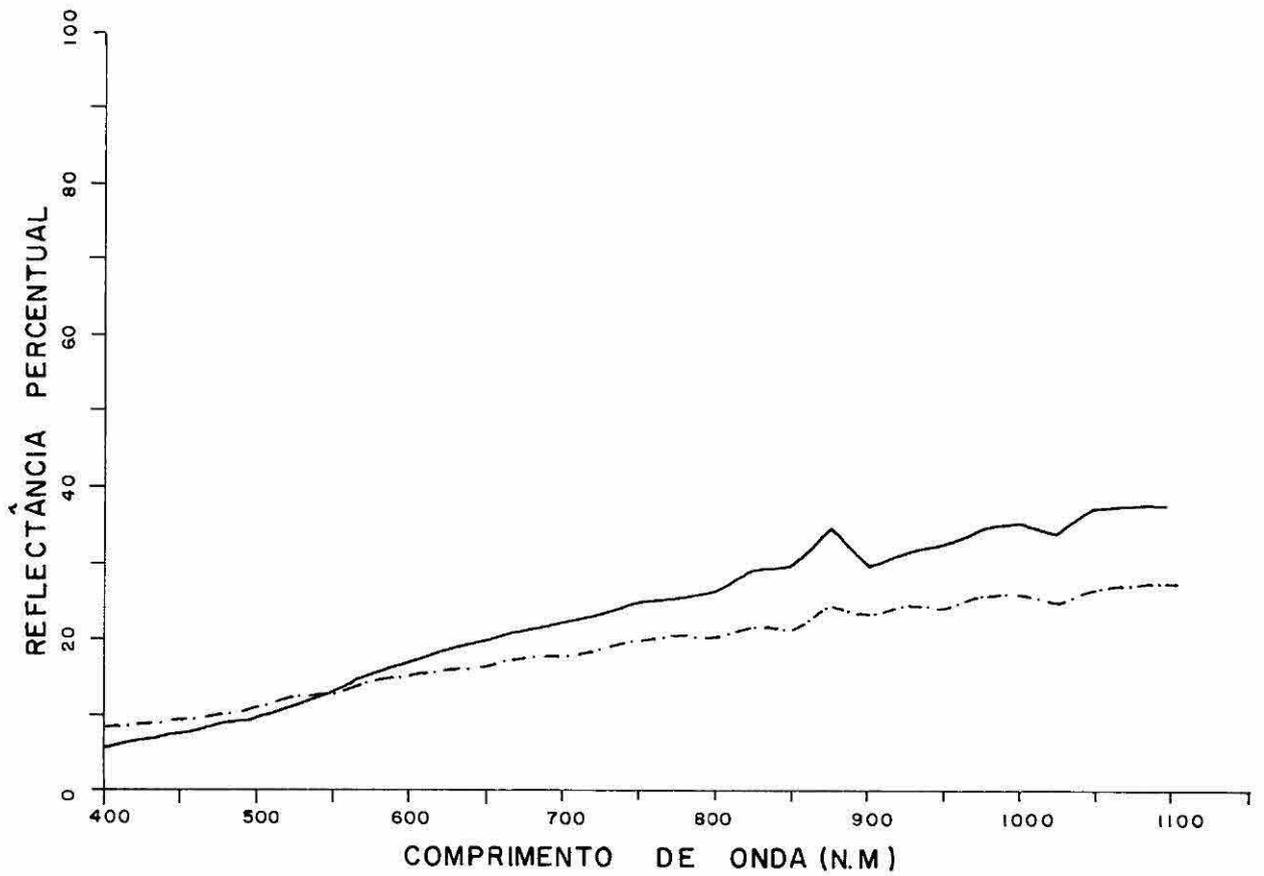


Figura 7.34

Espectros de reflectância em laboratório, para amostras de solos para a Unidade TN Banguê (traço e ponto) e área de migmatitos da Fazenda Harmonia (linha contínua).

e em linha contínua, um espectro obtido para o horizonte superficial de uma trincheira pedológica, aberta na Fazenda Harmonia (T₁₇), dentro da área branco/magenta, de configuração a grosso modo elíptica, nas imagens realçadas.

A comparação entre os dois espectros mostra uma boa separabilidade, principalmente na região do infravermelho, com bandas de absorção em ambos os espectros presentes em: (1) 860 nm, ligada à presença de processos eletrônicos com íon fêrrico e diagnóstica de hematita; (2) em 900 nm, característica de íon fêrrico, ligada à presença de goethita/limonita; (3) próxima a 1.000 nm, indicando processos de absorção, ligados a efeitos de campo cristalino com íons ferrosos. Dentro da conceituação de padrões de curvas de laboratório de Condit (1972), estas curvas poderiam se ajustar ao Tipo II (espectro com linha contínua) e II ou III (espectro em tracejado).

A maior atenuação das bandas de absorção para o espectro da Unidade TN Banquê, dando um caráter mais retilinizado ao seu traçado, sugere a presença de minerais opacos nesta amostra.

A comparação dos dados de campo e laboratório, mostrados nas Figuras 7.27 e 7.34 converge a um padrão de comportamento coerente entre os dois conjuntos de dados, com uma discriminação maior entre as unidades no infravermelho próximo, maior reflectância geral para o espectro da Fazenda Harmonia e baixa reflectância, ligada a um maior teor de ferro e opacos ao espectro da Unidade TN Banquê.

Na Figura 7.35, estão representados 3 espectros de laboratório, obtidos para a Unidade RC Cachoeira (espectros em tracejado, em traço e ponto e em linha contínua, correspondentes a pontos T16, T12 e T19, respectivamente).

Basicamente, o conjunto mostra uma atenuação de reflectância para a região do ultra-violeta/azul, vinculada à presença de íons fêrricos; bandas diagnósticas da presença de hematita em 850 nm e de limonita/ goethita em 900 nm (espectro em tracejado). As bandas centradas em 870 nm e próximas a 1000 nm, são aqui interpretadas como ligadas provavelmente à presença de íons fêrrico e ferrosos (espectros contínuos e em traço e ponto, e em tracejado, respectivamente).

Os 3 espectros se enquadrariam nos padrões de curvas do Tipo II de Condit, 1970.

A comparação entre os dados espectrais de campo e de laboratório (Figuras 7.28 e 7.35), mostra certa coerência entre os comportamentos deli-

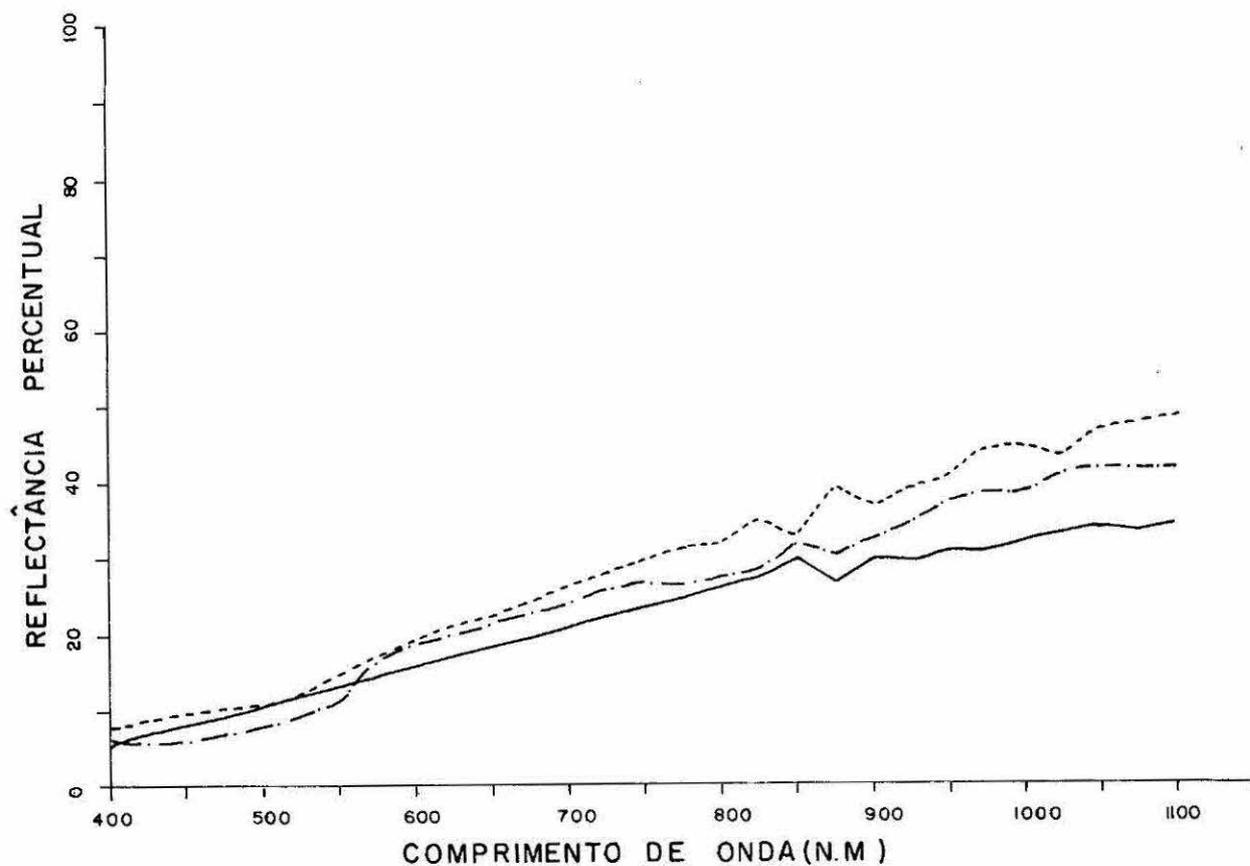


Figura 7.35

Espectros de reflectância em laboratório, obtidos para a unidade migmatítica RC Cachoeira.

neados, com menor reflectância sendo associada às medidas da zona migmatítica, ao sul da Lagoa Seca (espectros em traço e ponto, na Figura 7.28, e em linha contínua, na Figura 7.35); um padrão de disposição, no geral, mais elevado para as medidas da região da Fazenda Monte Alegre (espectros em pontilhado e tracejado, nos gráficos de campo e de laboratório) e uma disposição intermediária, vinculada às amostras do microclina-granito, das cabeceiras do Ligeiro (espectros em tracejado, na Figura 7.28, e traço e ponto, na Figura 7.35).

Pelos dados de laboratório, os padrões indicam separabilidade entre as unidades, com maior contraste para a região do infravermelho próximo. Como a imagem realçada pelos Componentes Principais da época seca, mostra separabilidade entre estas 3 áreas, existe a possibilidade de que o poder de separabilidade dos realces possa ser demonstrado por estas diferenças espectrais de laboratório.

Na Figura 7.36, estão plotados em tracejado, o espectro de reflectância de laboratório para a Unidade GCmc, e em linha contínua, o espectro para filito carbonático da Unidade GCfx.

Os padrões de resposta espectral são bem similares, sendo diferenciados apenas pela intensa banda de absorção centrada em 870 nm, aqui interpretada como ligada a processos de transições eletrônicas de íons fêrricos. Em adição, os dois espectros mostram uma queda abrupta de reflectância em direção ao azul/ultravioleta, bem condizentes de processos eletrônicos com íons fêrricos, característicos de calcários e rochas carbonatadas. Para as absorções próximas a 1080 nm, são associados processos eletrônicos com íons ferrosos.

Os dois espectros se enquadrariam no padrão II de curvas de laboratório, proposto por Condit, 1970.

A análise comparativa de gráficos de campo e de laboratório (Figura 7.29 e 7.36), confirma a premissa discutida na análise dos resultados de campo, de que a alta reflectância obtida para medidas "in situ", da Unidade GCmc, tenha sido influenciada, em grande parte, pelo alto ângulo de incidência solar.

Os dados de laboratório mostram comportamentos similares entre os espectros obtidos para a Unidade GCmc e GCfx (filito carbonático), sendo atípica a elevada reflectância obtida para o solo do calcário/mármore, nas medidas "in situ", o que enfatiza a importância das medidas espectrais de laboratório, como padrão de referência para os dados de campo.

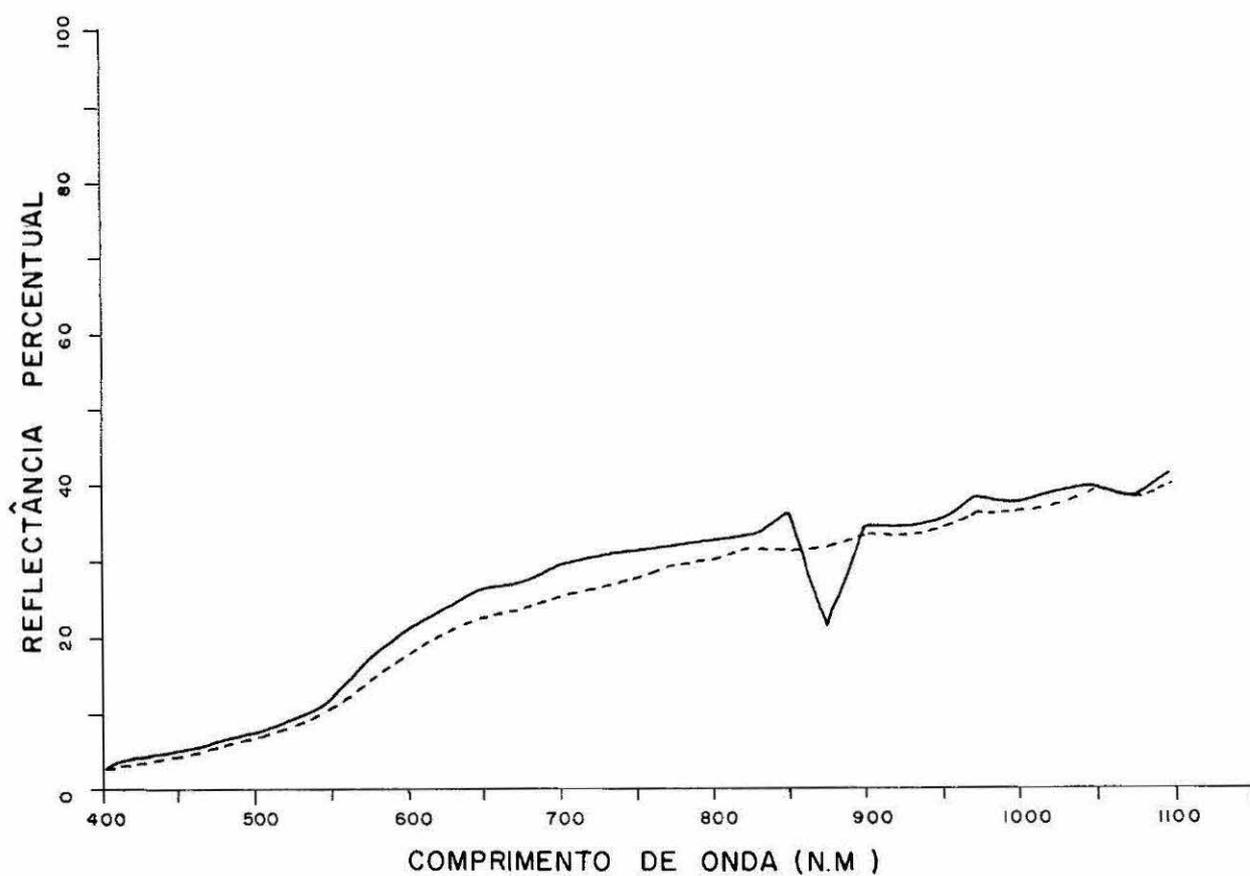


Figura 7.36

Espectros de reflectância de laboratório para as unidades GCmc (tracejado) e GC filito (linha contínua).

Embora com perfis superpostos, os dados de laboratório mostram bandas de absorção vinculadas às diferenças composicionais das unidades, que também são válidas em abordagens discriminativas.

Na Figura 7.37, foram plotados os espectros de laboratório para amostras de horizonte superficial das unidades discutidas anteriormente e assim referenciadas: linha contínua inferior = Unidade TN Banguê; traço e ponto = Unidade RC Cachoeira (região migmatítica ao sul de Lagoa Seca); traço e ponto = Unidade RC Cachoeira (área nas cabeceiras do riacho do Ligeiro); pontilhado = Unidade TN Bogô, e linha contínua superior = Unidade RC Cachoeira (área próxima à Fazenda Monte Alegre).

A análise dos padrões da Figura 7.37, mostra que a Unidade TN Banguê se discrimina de todas as unidades restantes, via espectro de laboratório, pela sua disposição em um patamar mais inferior de reflectância.

Em um segundo patamar de discriminação, se dispõe um espectro em traço e ponto da Unidade RC Cachoeira, correspondente à região de coloração branco-azulada, da citada unidade, na Figura 5.8.

Este espectro se separa bem do correspondente à Unidade TN Banguê e de um conjunto de curvas mais ou menos superpostas, localizadas em um campo de reflectância mais elevada, incluindo o espectro em pontilhado de TN Bogô e dois espectros da Unidade RC Cachoeira em traço e ponto e em linha contínua, respectivamente.

A disposição destes padrões na Figura 7.37, é razoavelmente coerente com as relações discutidas nos gráficos correspondentes de campo e, quando comparado com as tonalidades de referência, na composição falsa-color da Figura 5.8, denotam boa correlação, onde ao primeiro patamar de TN Banguê se associaria uma coloração azul mais escura; ao segundo patamar, estariam relacionadas as zonas de tonalidade branca com nuances azuladas de RC Cachoeira e ao patamar superior, corresponderiam as nuances esbranquiçadas de TN Bogô e RC Cachoeira.

Em síntese, os dados de laboratório, apesar de restritos, fornecem resultados que, em muitos aspectos, complementam e confirmam em outros, os padrões obtidos no campo e nos realces por tratamento digital das imagens.

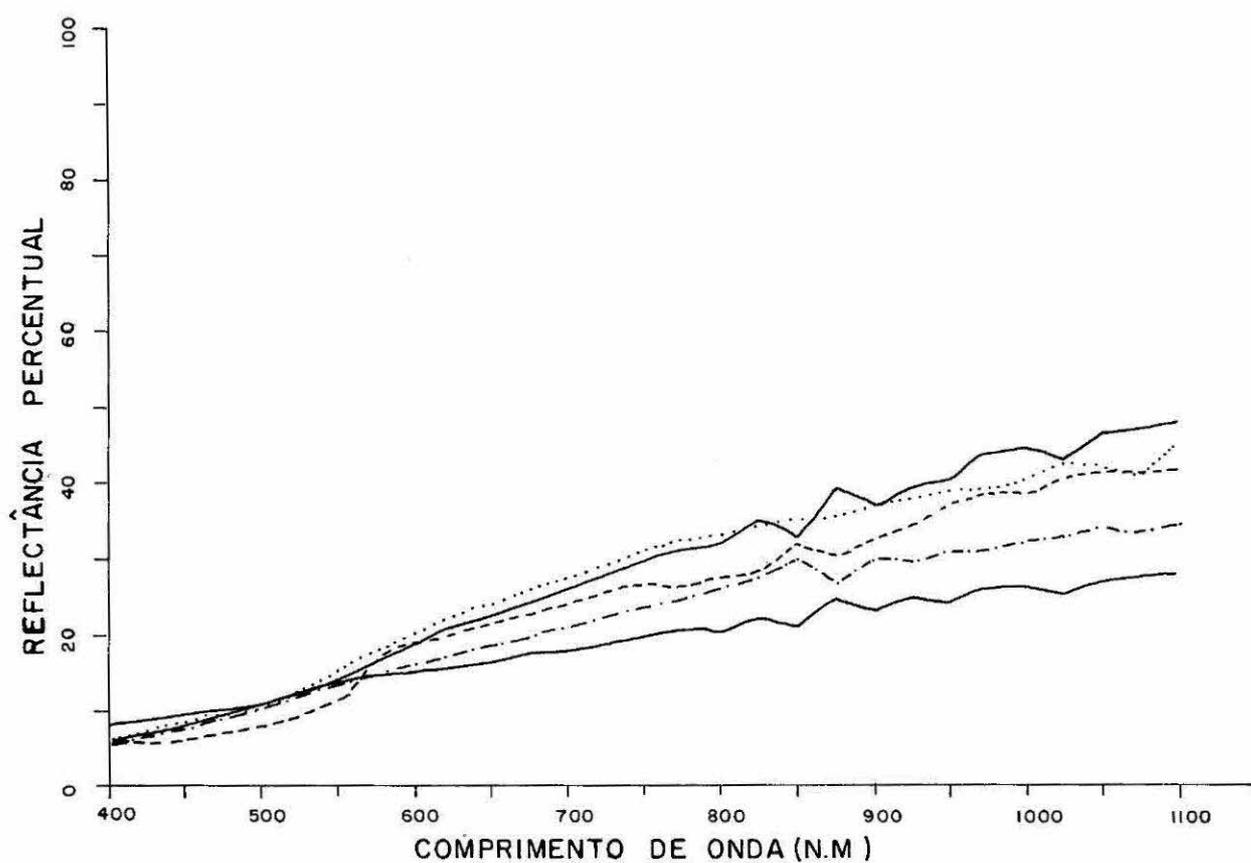


Figura 7.37

Espectros de reflectância de laboratório para as unidades: TN Banguê (linha contínua inferior), RC Cachoeira/sul de Lagoa Seca (traço e ponto), RC Cachoeira/Riacho do Ligeiro (tracejado), TN Bogô (pontilhado), RC Cachoeira/Monte Alegre (linha contínua superior).

É óbvio que o processo de análise visual e a extração desta quantidade de informação, torna-se inviável e ineficiente. Além do mais, muitas destas imagens seriam provavelmente redundantes (Podwysocki et alii, 1977).

A alternativa investigada na pesquisa para contornar este problema, baseou-se no uso de critérios de seleção de atributos espectrais, a partir de medidas de distâncias estatísticas de separabilidade entre classes, visando a indicação de subconjuntos de canais, para composições coloridas, que melhor discriminassem as diferentes litologias do Baixo Vale do Curaçã.

Vários são os critérios de medidas de distâncias estatísticas disponíveis na literatura, destacando-se a Divergência, a Divergência Transformada, a Distância de Battacharyya, ou Distância B e a Distância de Jeffreys-Matusita ou Distância JM, entre outras. Maiores detalhes sobre este assunto podem ser vistos nos trabalhos de Swain e King (1973) e Swain (1978).

Swain e King (op. cit.) concluíram que o critério da Distância JM apresenta algumas vantagens em relação aos outros critérios, na previsão correta de melhores canais para reconhecimento multiclases. Um exemplo no Brasil, da utilização de critérios de seleção de atributos de canais MSS-Landsat, para classificações temáticas em uso da Terra, foi apresentado por Ii et alii (1982).

8.2 - Conceituação

De modo genérico, cada classe temática numa imagem (por exemplo, a classe anfibolito), pode ser caracterizada em termos de uma função densidade de probabilidade $p(x / \omega_i)^*$, assumindo-se condições de distribuição gaussiana dos níveis de brilho que representam a classe.

Para o caso de uma dimensão ou um canal, a função densidade de probabilidade para uma classe, é dada, segundo Swain (1978), por:

$$p(x / \omega_i) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \sigma_i} \exp. \left[-\frac{1}{2} \cdot \frac{(x - \mu_i)^2}{\sigma_i^2} \right]$$

* $p(x / \omega_i)$ = distribuição dos pixels pertencentes à classe ω_i .

onde $\exp = e$ (base dos logaritmos naturais) elevado à potência indicada.

$\mu_i =$ média ou valor médio dos níveis de cinza para a classe.

$\sigma_i^2 =$ variância das medidas na classe.

Na prática, μ_i e σ_i^2 são estimados por amostragens.

No caso de dois ou mais canais, a função densidade normal multivariada, pode ser estimada através dos valores de média e matrizes de covariância para as classes envolvidas, através da equação:

$$p(x/\omega_i) = \frac{1}{(2\pi)^{n/2} |\Sigma_i|^{1/2}} \exp\left[-1/2 (x - \mu_i)^T \cdot \Sigma_i^{-1}(x - \mu_i)\right]$$

onde

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad \mu_i = \begin{bmatrix} \mu_{i1} \\ \mu_{i2} \\ \vdots \\ \mu_{in} \end{bmatrix} \quad \Sigma_i = \begin{bmatrix} \sigma_{i11} & \sigma_{i12} & \dots & \sigma_{i1n} \\ \sigma_{i21} & \sigma_{i22} & \dots & \sigma_{i2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{in1} & \sigma_{in2} & \dots & \sigma_{inn} \end{bmatrix}$$

ou :

$x =$ vetor dados (valores correspondentes em níveis de cinza da classe nos canais 1, 2,n).

$\mu_i =$ vetor média (valores de média da classe ω_i nos canais 1, 2,n).

$\Sigma_i =$ matriz de covariância para a classe ω_i , sendo σ_{i21} a covariância entre os canais 2 e 1 para a classe.

$|\Sigma_i| =$ determinante da matriz de covariância Σ_i .

$\Sigma_i^{-1} =$ inversa de Σ_i .

$(x - \mu_i)^T =$ transposta do vetor $(x - \mu_i)$.

Na prática, os vetores média e matriz de covariância para cada classe, são estimados por amostragens.

A distância JM está vinculada ao produto das funções densidade de probabilidade das classes pela relação:

$$d_{JM2} = 2(1 - p) \quad \text{onde}$$

$$p = \int_{-\infty}^{+\infty} (p(x/\omega_i) \cdot p(x/\omega_j))^{1/2} dx$$

Generalizando, a Distância JM representa uma medida da separabilidade média entre duas funções densidade de probabilidade, onde para duas classes, ω_i e ω_j , o produto integrado das funções densidade de probabilidade de ω_i e ω_j , será proporcionalmente maior à medida que as duas funções se superponham e diminua a separabilidade entre classes.

Os casos extremos neste raciocínio seriam: (1) $p(x/\omega_i) = p(x/\omega_j)$ e $\omega_i = \omega_j$, i. é, as classes não separariam onde $dJM^2 \neq 0$; e (2) quando as classes estivessem bem separadas e dJM^2 tenderia a 2,0.

Neste esquema, quando se dispõe de duas classes e M canais, a seleção do melhor conjunto n de M , no qual a separabilidade das duas classes é máxima, é baseada na escolha dos n canais para os quais a distância JM^2 é maior.

Quando se defronta com mais de duas classes e M canais, costuma-se utilizar dois critérios seletivos para a escolha do subconjunto n : (a) um subconjunto n será escolhido quando a distância média entre as Distâncias JM^2 , para todos os pares de classe, é maximizada; e (b) será considerado o subconjunto n que contenha a maior das Distâncias JM^2 mínimas entre os pares de classes.

8.3 - Resultados

Na Figura 8.1, são mostradas as localizações de áreas de amostragens, para 14 classes temáticas do Baixo Vale do Curaçá.

A escolha deste número de classes foi determinada pelas limitações do Sistema SELATR (Seleção de Atributos, Ribeiro et alii, 1982), que comporta no máximo 15 classes e 50 áreas de amostragens para a estimativa dos parâmetros de cada classe. Um segundo aspecto relevante na escolha das classes, foi a necessidade de uma seleção bem abrangente, que tentasse representar, com a maior diversidade possível, as unidades litológicas da área.

As 14 classes, mostradas na Figura 8.1, são: TNBN = TN Banguê com 3 amostras; TNBO = TN Bogô com 2 amostras; RCCA = RC Cachoeira com 4 amostras; QZITO FE = Quartzito Ferruginoso com 8 amostras; CALC2 = solo exposto de calcário/mármore com 4 amostras; CALC1 = caliche com 4 amostras; FILITO com 2 amostras; ELUVIO com 2 amostras; Q/CALC = Cobertura Quaternária Calcífera com 2 amostras; ALUVIÃO com 2 amostras; CALC3 = Lajedos de

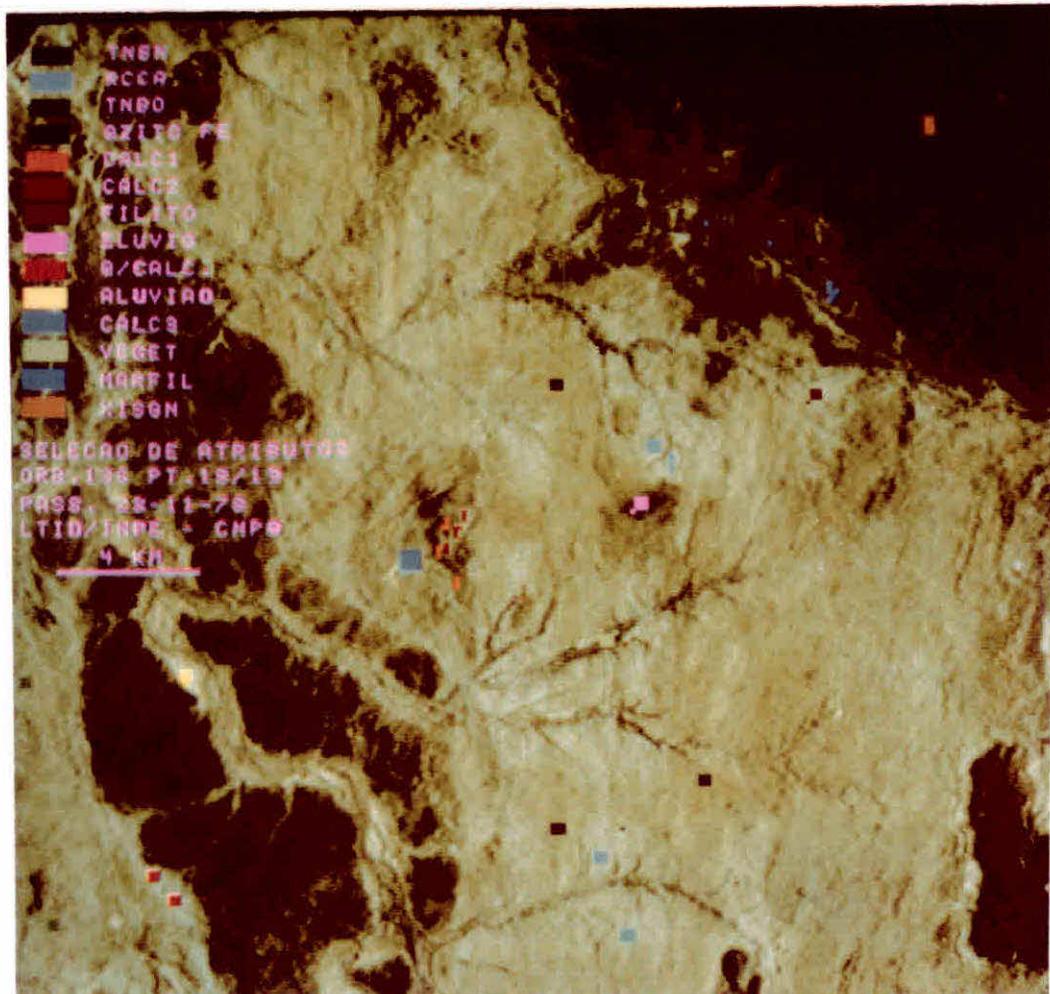


Figura 8.1

Localização das 14 classes temáticas, com suas respectivas áreas de amostragens, para o teste de seleção de atributos com o programa SELATR.

mãrmore/calcário com 1 amostra; VEGET = vegetação perene-folia associada à drenagem com 2 amostras; MARFIL = unidade marmor-filítica com 8 amostras e XISGN = unidade mica-xistos/gnaiss de baixo grau com 1 amostra.

Dois importantes cuidados adicionais foram tomados na escolha destas amostras. A fim de se evitar casos em que a matriz de covariância possa ser singular (seu determinante = 0 e sua inversa não possa ser calculada, tornando o cálculo computacional impossível), é necessário que um número mínimo de pontos de amostragens ou "pixels" das classes, seja estabelecido e

rigorosamente seguido. Segundo Swain (1978), este valor na prática pode ser dado por $10n$, sendo n o número de canais ou dimensões envolvidos.

Na pesquisa, utilizou-se um número mínimo de 40 pontos de amostragens para cada classe, acima portanto dos 30 pontos mínimos recomendados, na escolha de 3 canais para composição colorida. Esta imposição inviabilizou, entretanto, a amostragem de alvos com dimensões reduzidas, como por exemplo, corpos de mafitos-ultramafitos e cálcico-silicatadas.

O segundo cuidado esteve ligado à obrigatoriedade de não se violar a suposição inerente ao compostamento gaussiano para as classes, assumido no uso da seleção de atributos. Neste sentido, analisou-se a distribuição de frequência dos "pixels" das amostragens de cada classe, em cada uma das 10 situações consideradas, i. é, canais 4, 5, 6, 7, 4/5, 4/6, 4/7, 5/6, 5/7, 6/7, a fim de assegurar a presença de distribuições normais, nos dados de entrada do programa SELATR.

A análise se ateve aos dados Landsat da época seca, sendo investigadas 3 situações:

- a) seleção dos 3 melhores canais, considerando-se os 4 canais MSS - Landsat (MSS 4, 5, 6 e 7);
- b) seleção dos 3 melhores canais, considerando-se os 6 canais MSS - ratios (MSS 4/5, 4/6, 4/7, 5/6, 5/7 e 6/7);
- c) seleção dos 3 melhores canais, considerando-se o conjunto 4 canais originais e 6 ratios (MSS 4, 5, 6, 7, 4/5, 4/6, 4/7, 5/6, 5/7, 6/7).

Para cada conjunto selecionado, foram construídas composições coloridas com as 3 cores primárias, as quais tiveram seus desempenhos, em discriminação litológica, visualmente avaliados.

Nas Tabelas 8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5 e 8.6 são apresentados os resultados fornecidos pelo programa SELATR, para as 3 situações investigadas.

Pelas Tabelas 8.1 e 8.2, nota-se que a escolha dos 3 melhores canais, entre os 4 originais, apenas mostrou discrepância nas bandas do infravermelho, sendo que pelo critério da máxima Distância JM^2 - média, foi indicada a banda MSS-7, enquanto pelo critério de maximização da Distância JM^2 - mínima, a escolha recaiu na banda 6.

A composição falsa-cor, discutida em detalhes no Capítulo 5 (Figura 5.8) e normalmente escolhida em trabalhos de discriminação de alvos, se ajustaria ao primeiro critério (Tabela 8.1). Em relação ao segundo critério (Tabela 8.2), convém salientar que a maior Distância JM^2 entre as mínimas

Ordenação das Distâncias JM^2 médias nos 4 melhores subconjuntos de canais que maximizam a Distância JM^2 média	Notação de Canais	Notação de Classes
CANAIS: 1 2 4 D JM^2 MÉDIA = 1,8731	1 : MSS 4	1. TNBN 2. RCCA 3. TNBO 4. QTZITO
CANAIS: 1 3 4 D JM^2 MÉDIA = 1,8300	2 : MSS 5	5. CALC 1 6. CALC 2 7. FILITO 8. ELÓVIO
CANAIS: 1 2 3 D JM^2 MÉDIA = 1,8209	3 : MSS 6	9. QC 10. ALUVIÃO 11. CALC 3 12. VEGET
CANAIS: 2 3 4 D JM^2 MÉDIA = 1,8160	4 : MSS 7	13. MARFIL 14. XISGN

Tabela 8.1 - 19 critério JM^2 para 4 canais originais Landsat

Ordenação das Distâncias JM^2 mínimas, nos 4 melhores subconjuntos de canais que maximizam a mínima Distância JM^2 no subconjunto, para um dado par de classes	Notação de Canais	Notação de Classes
CANAIS: 1 2 3 D JM^2 MÍNIMA = 0,50776 CLASSES: 3 e 11	1 : MSS 4	1. TNBN 2. RCCA 3. TNBO 4. QTZITO
CANAIS: 1 3 4 D JM^2 MÍNIMA = 0,48432 CLASSES: 3 e 11	2 : MSS 5	5. CALC 1 6. CALC 2 7. FILITO 8. ELÓVIO
CANAIS: 2 3 4 D JM^2 MÍNIMA = 0,31105 CLASSES: 2 e 9	3 : MSS 6	9. OC 10. ALUVIÃO 11. CALC 3 12. VEGET
CANAIS: 1 2 4 D JM^2 MÍNIMA = 0,29679 CLASSES: 3 e 11	4 : MSS 7	13. MARFIL 14. XISGN

Tabela 8.2 - 29 critério JM^2 para 4 canais originais Landsat

Ordenação das Distâncias JM^2 médias, nos 6 melhores subconjuntos de canais que maximizam a Distância JM^2 média	Notação de Canais	Notação de Classes
CANAIS: 1 3 5 D JM^2 MÉDIA = 1,6369	1 : MSS 4/7 2 : MSS 4/6 3 : MSS 4/5 4 : MSS 5/6 5 : MSS 5/7 6 : MSS 6/7	1. TNBN 2. RCCA 3. TNBO 4. QTZITO 5. CALC 1 6. CALC 2 7. FILITO 8. ELÓVIO 9. QC 10. ALUVIÃO 11. CALC 3 12. VEGET 13. MARFIL 14. XISGN
CANAIS: 2 3 5 D JM^2 MÉDIA = 1,6211		
CANAIS: 1 2 5 D JM^2 MÉDIA = 1,6190		
CANAIS: 3 4 5 D JM^2 MÉDIA = 1,6182		
CANAIS: 2 4 5 D JM^2 MÉDIA = 1,6179		
CANAIS: 1 4 5 D JM^2 MÉDIA = 1,6171		

Tabela 8.3 - 1º critério JM^2 para 6 canais "ratio" Landsat

Ordenação das Distâncias JM^2 mínimas nos 6 melhores subconjuntos de canais que maximizam a mínima Distância JM^2 no subconjunto, para um dado par de classes	Notação de Canais	Notação de Classes
CANAIS: 1 2 6 D JM^2 MÍNIMA = 0,48735 CLASSES: 4 e 10	1 : MSS 4/7 2 : MSS 4/6 3 : MSS 4/5 4 : MSS 5/6 5 : MSS 5/7 6 : MSS 6/7	1. TNBN 2. RCCA 3. TNBO 4. QTZITO 5. CALC 1 6. CALC 2 7. FILITO 8. ELÓVIO 9. QC 10. ALUVIÃO 11. CALC 3 12. VEGET 13. MARFIL 14. XISGN
CANAIS: 2 3 5 D JM^2 MÍNIMA = 0,37058 CLASSES: 1 e 10		
CANAIS: 2 5 6 D JM^2 MÍNIMA = 0,36390 CLASSES: 1 e 10		
CANAIS: 2 4 5 D JM^2 MÍNIMA = 0,36079 CLASSES: 1 e 10		
CANAIS: 1 2 3 D JM^2 MÍNIMA = 0,35999 CLASSES: 4 e 13		
CANAIS: 2 4 6 D JM^2 MÍNIMA = 0,35991 CLASSES: 1 e 10		

Tabela 8.4 - 2º critério JM^2 para 6 canais "ratio" Landsat

Ordenação das Distâncias JM^2 Médias, nos 6 melhores subconjuntos de canais que maximizam a Distância JM^2 Média	Notação de Canais	Notação de Classes
CANAIS: 1 4 9 D JM^2 MÉDIA = 1,8733	1 : MSS 4	1. TNBN
CANAIS: 4 7 9 D JM^2 MÉDIA = 1,8732	2 : MSS 5	2. RCCA
CANAIS: 1 2 4 D JM^2 MÉDIA = 1,8731	3 : MSS 6	3. TNBO
CANAIS: 2 4 7 D JM^2 MÉDIA = 1,8730	4 : MSS 7	4. QTZITO
CANAIS: 4 5 9 D JM^2 MÉDIA = 1,8728	5 : MSS 4/5	5. CALC 1
CANAIS: 2 4 5 D JM^2 MÉDIA = 1,8727	6 : MSS 4/6	6. CALC 2
	7 : MSS 4/7	7. FILITO
	8 : MSS 5/6	8. ELÓVIO
	9 : MSS 5/7	9. QC
	10: MSS 6/7	10. ALUVIÃO
		11. CALC 3
		12. VEGET
		13. MARFIL
		14. XISGN

Tabela 8.5 - 1º critério JM^2 para 4 canais originais + 6 "ratios"

Ordenação das Distâncias JM^2 mínimas nos 6 melhores subconjuntos de canais que maximizam a mínima Distância JM^2 no subconjunto, para um dado par de classes	Notação de Canais	Notação de Classes
CANAIS: 1 3 6 D JM^2 MÍNIMA = 0,84014 CLASSES: 3 e 11	1 : MSS 4	1. TNBN
CANAIS: 3 6 9 D JM^2 MÍNIMA = 0,66165 CLASSES: 3 e 11	2 : MSS 5	2. RCCA
CANAIS: 1 3 9 D JM^2 MÍNIMA = 0,64430 CLASSES: 3 e 11	3 : MSS 6	3. TNBO
CANAIS: 1 6 9 D JM^2 MÍNIMA = 0,63570 CLASSES: 3 e 11	4 : MSS 7	4. QTZITO
CANAIS: 4 5 8 D JM^2 MÍNIMA = 0,62248 CLASSES: 8 e 14	5.: MSS 4/5	5. CALC 1
CANAIS: 3 7 9 D JM^2 MÍNIMA = 0,62033 CLASSES: 3 e 11	6 : MSS 4/6	6. CALC 2
	7 : MSS 4/7	7. FILITO
	8 : MSS 5/6	8. ELÓVIO
	9 : MSS 5/7	9. QC
	10: MSS 6/7	10. ALUVIÃO
		11. CALC 3
		12. VEGET
		13. MARFIL
		14. XISGN

Tabela 8.6 - 2º critério JM^2 para 4 canais originais + 5 "ratios"

presentes, ocorre entre o par de classes TNBO e CALC3, com um valor de 0,50776.

Pelos dados das Tabelas 8.3 e 8.4, os melhores canais "ratios" para discriminação litológica na área de estudo, seriam: pelo primeiro critério 4/7, 4/5 e 5/7, e pelo segundo critério 4/7, 4/6 e 6/7.

A análise destes resultados indica que apenas o "ratio" 4/7 foi escolhido pelos dois critérios e que, pelos critérios de seleção de atributos empregados, em nenhuma ordenação foi indicada a combinação 4/5, 5/6 e 6/7, utilizada em alguns trabalhos como a mais apropriada e sobre a qual discutiu-se previamente no Capítulo 5 (Figura 5.16), caracterizada pelo seu baixo desempenho na discriminação litológica.

Em relação aos híbridos (Tabelas 8.5 e 8.6), as combinações indicadas foram distintas pelos dois critérios, sendo que apenas o canal 4 participou simultaneamente, na primeira seleção pelos dois critérios analisados - canais 4, 7 e 5/7 e canais 4, 6 e 4/6, respectivamente.

Procurando-se analisar o significado das ordenações indicadas pelos dois critérios, foi feita uma avaliação visual de desempenho dos canais originais e "ratios", na discriminação litológica.

A avaliação visual dos produtos fotográficos ampliados do vídeo de TV do I-100, na escala 1:100.000, foi desenvolvida independentemente por 3 fotointerpretes, a fim de se evitar subjetividade na análise. Treze das 14 classes da Figura 8.1 (a classe quartzito ferruginoso, situada na borda oeste da área, não teve toda a sua extensão ampliada em alguns produtos, sendo desconsiderada na análise visual), foram analisadas, segundo dois índices:

- a) Índice de detecção (Id): denota a capacidade do realce em detectar espacialmente a classe de interesse ou, em outras palavras, indica a potencialidade do produto realçado em individualizar espacialmente as 13 classes consideradas. Este índice foi expresso percentualmente, segundo a relação:

$$\begin{aligned} 13 \text{ classes detectáveis} &= 100\% \\ n \quad " \quad " &= \text{Id} \\ \text{Id} &= \frac{n \times 100}{13} \end{aligned}$$

- b) Índice de separabilidade (Is): indica a capacidade de separabilidade entre classes nos realces, sendo baseado nas discrepâncias de brilho visualmente perceptíveis. O cálculo da percentagem para este índice foi obtido pela relação:

$$\begin{aligned} 156 \text{ (realce \u00f3timo)} &= 100\% \\ n \text{ calculado} &= I_s \end{aligned}$$

$$I_s = \frac{n \cdot 100}{156}$$

O valor 156 foi obtido pelo produto 12 x 13 (realce ideal), sendo 12 a contagem m\u00e1xima poss\u00edvel de ser atribu\u00edda a uma classe, i. \u00e9, ela se discriminaria por brilho ou tom das outras 12 restantes, e 13 corresponde ao m\u00e1ximo n\u00famero de classes detectadas e, deste modo, considerado na an\u00e1lise. Na verdade, o \u00edndice de separabilidade vincula-se ao \u00edndice de detec\u00e7\u00e3o, na medida em que uma classe s\u00f3 pode ser discriminada de outra, se ambas forem detectadas.

O valor n calculado representa, portanto, o desempenho de separabilidade de cada produto, sendo dado pelo somat\u00f3rio da separabilidade entre classes, i. \u00e9, corresponde \u00e0 soma da separabilidade de cada classe em rela\u00e7\u00e3o \u00e0s outras restantes, considerando-se todas as classes detectadas no produto analisado.

Os valores de Id e Is para os 4 canais originais e "ratios" s\u00e3o vistos na Tabela 8.7

Canal MSS	Id (%)	Is (%)
4	76,92	51,28
5	76,92	50,00
6	76,92	46,15
7	84,60	56,52
4 / 5	76,92	51,28
4 / 6	69,23	36,53
4 / 7	69,23	38,46
5 / 6	23,00	3,80
5 / 7	84,60	66,60
6 / 7	69,23	39,74

Id = \u00edndice de detec\u00e7\u00e3o
Is = \u00edndice de separabilidade

Tabela 8.7

An\u00e1lise do desempenho visual dos 4 canais originais e 6 "ratios", em discrimina\u00e7\u00e3o litol\u00f3gica das classes da Figura 8.1.

A análise dos dados da Tabela 8.7 indica que dos 4 canais originais, os canais 7, 4 e 5, nesta sequência, são os que apresentam visualmente melhor desempenho médio em discriminações litológicas, segundo as 13 classes analisadas.

Estas conclusões são coincidentes com o primeiro critério, utilizando-se seleção de atributos pela Distância JM^2 (Tabela 8.1).

Em relação aos "ratios", a análise visual indicou o canal 5/7 como o de melhor desempenho médio, seguido pelo canal 4/5 e em terceiro, o canal 6/7, que muito pouca diferença teria dos canais 4/7 e 4/6, todos os três com iguais índices de detecção (69,23) e pequena variação nos índices de separabilidade (39,74, 38,46 e 36,53 respectivamente). O pior canal "ratio" na análise visual foi o 5/6, com 23,00 % de índice de detecção e apenas 3,8% de índice de separabilidade.

Também no caso dos "ratios", os resultados da análise visual são compatíveis com a ordenação, segundo o 1º critério de Seleção de Atributos por Distância JM^2 (Tabela 8.3), indicando ser este critério bem "mais poderoso e realístico", na ordenação de melhores subconjuntos de canais em aplicações geológicas. As discrepâncias observadas na indicação do terceiro melhor canal (6/7 pela análise visual e 4/7 pelo 1º critério JM^2), podem ser explicadas por variações no cômputo geral, ligadas a não-consideração da classe quartzito ferrífero na análise visual.

Em se tratando do produto "híbrido", os resultados das tabelas 8.5 e 8.7 são de modo geral convergentes, sendo indicada pelo 1º critério JM^2 o conjunto de canais 5/7, 7 e 4 e pela análise visual o conjunto de canais 5/7, 7 e 4 ou 4/5. Na Figura 8.2, encontra-se o híbrido indicado pelo 1º critério de Seleção de Atributos.

Aceitando-se estes resultados como representativos de uma análise sobre o desempenho em um teste prático de discriminação visual de litologias, numa fase final da pesquisa buscou-se avaliar o desempenho das composições coloridas. Quatro produtos da época seca foram analisados: composição colorida normal ou falsa-cor (canais 4, 5 e 7, associados às cores azul, verde e vermelho, respectivamente), composição colorida híbrida (canais 5/7, 7 e 4, associados às cores azul, vermelho e verde); composição colorida de Componentes Principais (1º, 2º e 3º CP, associadas às cores azul-negativo, vermelho e verde) e composição colorida com 3 "ratios" (4/5 5/7 e 4/7, associadas às cores vermelho, azul e verde).

Para que a análise se revestisse de um caráter o mais abrangente

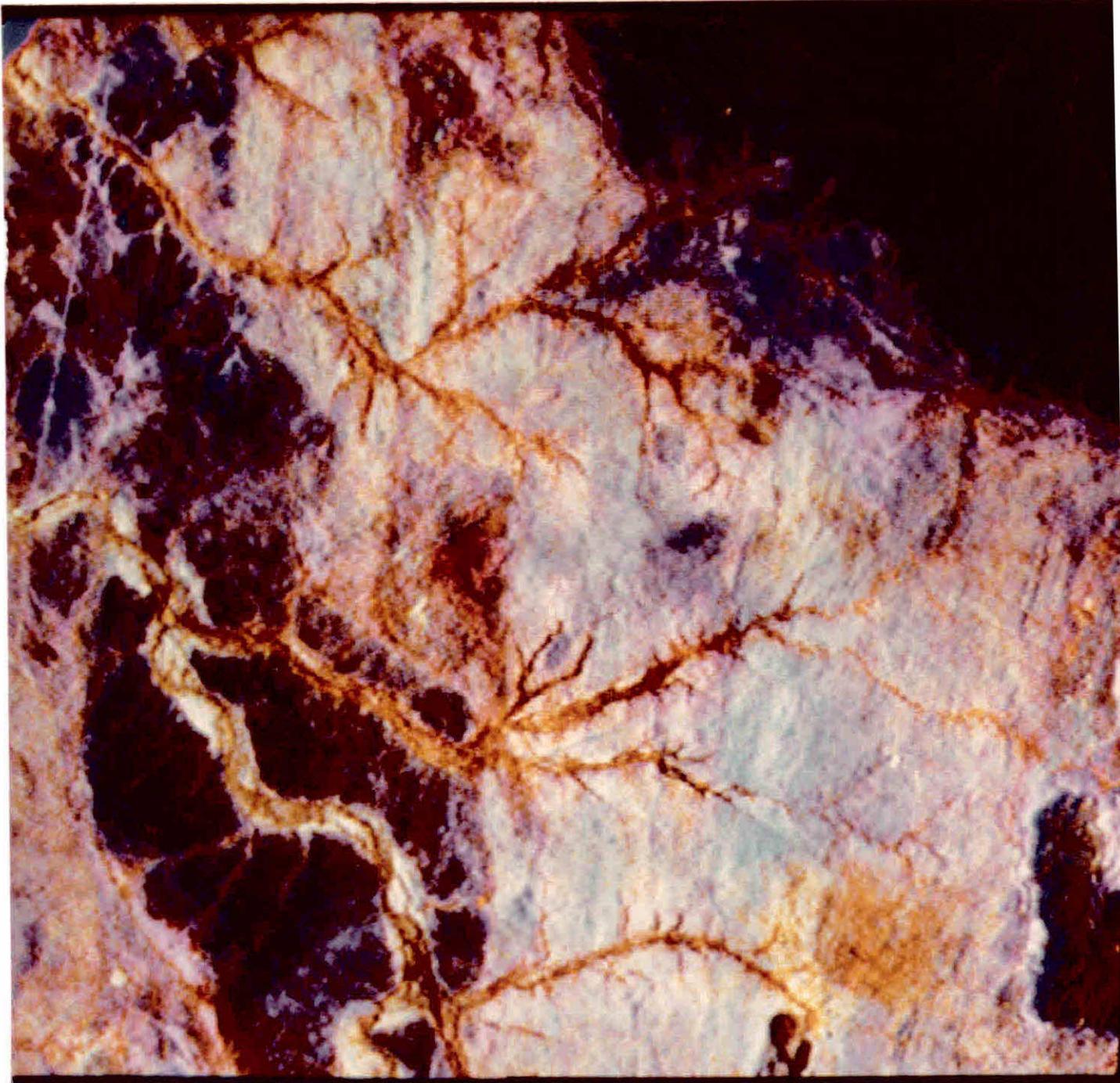


Figura 8.2

Híbrido indicado pelo 1º critério de Distância JM^2 (Canais 5/7, 7 e 4, com as cores azul, vermelho e verde, respectivamente). Canais contrastados previamente por ALC (Imagens MSS-Landsat, época seca). Escala aproximada 1:160.000.

possível, foram avaliadas 26 classes de amostragens na cena, representando situações superficiais variadas, ligadas às unidades litológicas na área. A listagem abaixo indica as 26 classes consideradas, no desempenho dos produtos:

- 1) cobertura calcífera
- 2) depósito de elúvio
- 3) drenagem por vegetação (trecho médio dos riachos Caraibinha e Melancia)
- 4) depósitos de aluvião (Rio Curaçã)
- 5) calcário caatinga (Serrote da Melancia)
- 6) quartzito ferrífero (corpo W da Fazenda Campo Formoso)
- 7) calcico-silicática (corpo ao norte do Serrote da Salina e truncando o riacho Malhada da Pedra)
- 8) anfibolito (estrada Fazenda Melancia/Barro Vermelho, 4 Km lado direito da estrada, após a Fazenda Melancia)
- 9) mafito-ultramafito (Fazenda Cabaceira)
- 10) dique gabro (SE da Fazenda Melancia)
- 11) filito Cana Brava)
- 12) filito (SW da Fazenda Humaitã)
- 13) filito (Fazenda Salinas)
- 14) Unidade xisto-gnáissica (Unidade GMxg)
- 15) Unidade filito-xisto (Unidade GCfx)
- 16) Unidade mármore-filítica (Fazenda Humaitã)
- 17) Calcário Canudos (Unidade GCmc, W da Fazenda Campo Formoso)
- 18) Calcário Canudos (Unidade GCmc, Serrote da Melancia)
- 19) Calcário Canudos (Unidade GCmc, Serrote da Salina)
- 20) cataclasitos (Borda da Serra Redonda)
- 21) sienito-gnaiss (Serra Redonda)
- 22) Unidade Tanque Novo Bogó
- 23) Unidade Tanque Novo Banguê
- 24) Unidade gnáissica oriental
- 25) Unidade Rio Curaçã Cachoeira
- 26) lajedos migmatizados (NE da Serra Redonda)

Da mesma forma que anteriormente, 3 fotointérpretes analisaram independentemente, o desempenho dos produtos, segundo os índices de detecção e separabilidade.

Os valores percentuais de cada índice, foram obtidos pelas relações abaixo:

a) Índice de detecção

$$26 \text{ (Realce ótimo)} = 100\%$$

$$n = Id$$

$$Id = \frac{n \cdot 100}{26}$$

b) Índice de separabilidade

$$650 \text{ (Realce ótimo)} = 100\%$$

$$n = Is$$

$$Is = \frac{n \cdot 100}{650}$$

A Tabela 8.8 mostra os resultados obtidos para os 4 produtos (composições coloridas) analisados.

Da análise destes dados, os desempenhos da composição falsa-cor e híbrida são equivalentes, com a ressalva de ser o produto híbrido superior, na discriminação das grandes unidades, tais como: TN Bogó, RC Cachoeira, TN Banguê, Grupos Canudos/Macururê; e a composição falsa-cor ser mais eficiente no contraste tonal de detalhes, como as unidades mafito/ultramafitos, cobertura calcífera e filitos, por exemplo.

Um outro aspecto importante na pesquisa foi a comprovação da superioridade da composição de Componentes Principais, em relação à composição colorida com os dados "ratios". Pode-se afirmar que as informações extraídas do realce pelos Componentes Principais, complementam em muitos aspectos e comprovam em outros, os dados de contrastes mostrados nas composições híbrida e falsa-cor, ao passo que a composição colorida com os "ratios", evidenciam certas ambiguidades, além da baixa relação sinal/ruído em algumas divisões.

Levando-se em conta o custo computacional mais elevado para a utilização de seleção de atributos e, conseqüentemente, obtenção dos produtos híbridos, bem como pelo baixo desempenho dos produtos "ratios", é aqui sugerido o uso do par "falsa-cor + Componentes Principais", como mais adequado às abordagens de discriminações litológicas, com dados MSS-

COMPOSIÇÃO * COLORIDA MSS-LANDSAT	ÍNDICE DE DETECÇÃO (%)	ÍNDICE DE DISCRIMINAÇÃO (%)
NORMAL (FALSA-COR)	9 6, 1 5	8 9, 8 4
HÍBRIDA	9 6, 1 5	8 9, 2 3
COMPONENTES PRINCIPAIS	8 4, 6 1	6 5, 2 3
"RATIO"	7 3, 0 0	4 6, 1 5

{
 NORMAL
 HÍBRIDA
 COMPONENTES PRINCIPAIS
 "RATIO"
 }
 *NOTAÇÃO
 = (MSS 4 + azul) + (MSS 5 + verde) + (MSS 7 + vermelho)
 = (MSS 4 + verde) + (MSS 5/7 + azul) + (MSS 7 + vermelho)
 COMPONENTES PRINCIPAIS = (1ºCP + azul negativo) + (2º CP + vermelho) + (3º CP + verde)
 = (MSS 4/5 + vermelho) + (MSS 5/7 + azul) + (MSS 4/7 + verde)

Tabela 8.8 - Desempenho das melhores composições coloridas, na discriminação litológica do Baixo Vale do Rio Curaça, com imagens MSS-Landsat, utilizando-se 26 classes de litologias.

Landsat, de ambientes semi-áridos tropicais, semelhantes aos do Vale do Curaçá.

Obviamente, as variações de densidade de cobertura vegetal, atividade antrópica e principalmente de relevo, podem alterar em muito esta generalização, sendo portanto recomendado como uma norma em processamento digital, que os resultados de desempenho obtidos com os produtos Falsacor + Componentes Principais, direcionem a necessidade ou não de novos realces, incluindo-se então as imagens híbridas e "ratio", como complementos na abordagem discriminativa.

A Figura 8.3 sintetiza a discriminação das unidades litológicas conseguidas para o Baixo Vale do Curaçá, através da integração dos resultados dos vários realces espectrais/temporais, com dados de campo, laboratório e bibliográfico.

CAPÍTULO 9

CONCLUSÕES

Os dados obtidos e as discussões dos capítulos precedentes, possibilitaram a formulação de várias conclusões, listadas a seguir, ressaltando-se no entanto que, pelo estágio inicial de desenvolvimento destas investigações no país, tais conclusões devem se restringir ao domínio estudado, com reservas à extrapolações para ambientes diferentes:

1 - As informações espectrais e temporais de dados digitais MSS do satélite Landsat 3, adequadamente processadas, analisadas e interpretadas, permitiram discriminar com eficiência, unidades litológicas na área de estudo, a um nível comparável com a escala 1:50.000, dos mapeamentos prévios. Muito embora a região escolhida apresente condições favoráveis para o experimento, deve aqui ser salientada a sua elevada complexidade geológica, situada entre domínios tectônicos, cujos modelos evolutivos ainda não estão perfeitamente estabelecidos, apesar da intensa atividade de pesquisa geológica já desenvolvida.

2 - Embora a cartografia geológica já esteja razoavelmente estabelecida, pelos mapeamentos prévios de Delgado e Souza (1975) e Jordan (1968, 1971), algumas contribuições adicionais ao conhecimento geológico da região foram possíveis, devendo ser mencionadas:

a) a individualização de uma unidade de biotita-gnaisses e quartzo-feldspato - gnaisses, com migmatizações e granulitizações subordinadas, disposta numa faixa norte-sul, a leste da Serra Redonda e estendendo-se ao norte, até as sequências de metamorfitos de baixo grau do Proterozóico Superior. Tal unidade, não discriminada nos mapeamentos anteriores, apresenta grandes intercalações de corpos máfico-ultramáficos diferenciados (dunitos/peridotitos?, piroxenitos, piroxenitos serpentinizados, gabro-noritos, hornblenditos, até prováveis anortositos), podendo vincular-se espacialmente com os terrenos gnáissicos-migmatíticos do "greenstone belt do médio Itapecuru".

A pouca quantidade de dados, especialmente sobre o comportamento espacial desta unidade, ao sul da região estudada (nordeste de Barro Verme-

lho) e sobre o seu interrelacionamento com a faixa granulítica do Curaçã ou com o domínio de menor grau do Itapecuru, situam esta proposição ainda em contexto especulativo, tornando-se necessários estudos adicionais detalhados (estruturais, petrográficos, petroquímicos, geocronológicos) para compor um quadro tectônico, que permita regionalizações mais seguras.

b) a individualização espacial de uma faixa de disposição meridiana, situada ao norte da Serra Redonda, com predominância de orto-piroxênio gnaisses, na unidade designada como Tanque Novo Banguê, por Delgado e Souza (1975). As relações de contato desta unidade granulítica e a discutida no item anterior, foram interpretadas pelos dados de imagens realçadas e fotos aéreas, como ligadas a falhamentos.

c) a caracterização nas bordas do gnaiss sieniítico da Serra Redonda, de um domínio representado por gnaisses porfiroblásticos, associados à granitização que gradam, à medida que se afasta da intrusão para cataclastos ácidos, gnaisses cataclásticos, hiperstênio-gnaisses cataclásticos e migmatitos. É aqui sugerido, que tais rochas possam vincular-se a efeitos da intrusão na encaixante granulítica, com o conjunto sendo posteriormente afetado por sistemas de falhamentos transversais, dispostos segundo NW-SE a WNW-ESE.

d) a extensão espacial da unidade migmatítica para oeste dos limites, anteriormente cartografados por Delgado e Souza (1975), sendo ainda individualizadas duas outras áreas cartografáveis, de rochas migmatíticas com granitização, dentro dos domínios da Unidade Tanque Novo Banguê, destes autores. As relações de contato entre a faixa meridiana de migmatitos e as encaixantes de gnaisses a oeste e granulitos a leste, são aqui interpretadas como devidas a falhamentos.

e) a delimitação de áreas predominantemente filíticas no Grupo Canudos e a comprovação da presença do calcário secundário da Formação Caatinga, no Serrote da Melancia.

f) o contato dos metamorfitos dos Grupos Canudos e Macururé, no nordeste da área de estudo, foi interpretado como em grande parte ligado a falhamentos, face às descontinuidades bruscas de tonalidades nas imagens, e aos lineamentos que separam os dois domínios em fotografias aéreas, no trecho a NNW de Humaitã. A continuação do traçado deste contato, torna-se gradativamente imperceptível ao norte da Fazenda Caracol, desconhecendo-se

então as relações que passam a vigorar.

3 - A detecção de grande parte dos mafitos-ultramafitos não foi possível, o que já era esperado, face às dimensões reduzidas dos corpos e à baixa resolução espacial do MSS-Landsat. Entretanto, corpos de maior porte puderam ser detectados, principalmente os situados na borda oriental da área de estudo.

A análise dos padrões tonais dos corpos metaígneos detectados, revela variações bem perceptíveis de reflectância, abrindo perspectivas de que diferenças composicionais, ligadas à predominância litológica nestes corpos, possam ser exploradas, via análise espectral, com as fitas magnéticas do TM Landsat 4, de melhor resolução espacial e radiométrica, e de maior número de bandas. Tais dados estarão disponíveis para análise ainda em 1983 e comporão a etapa seguinte de investigação, no Vale do Curaçá, conduzida por este autor.

4 - Os solos na área de estudo podem ser classificados em 5 grandes grupos que, por ordem de importância seriam: Bruno Não Cálcicos, Planossolos, Latos solos, Litólicos/Cambissolos Litólicos e Vertissolos.

Tais solos são rasos a pouco profundos e de natureza residual, o que permitiu a viabilidade da abordagem proposta.

Os resultados obtidos permitem vincular Planossolos Vérticos com o domínio das Unidades TN Bogó e "Oriental"; Bruno Não Cálcicos Vérticos Planossólicos e Bruno Não Cálcicos Planossólicos Vérticos, predominantemente com os migmatitos RC Cachoeira e subordinadamente com a Unidade TN Banguê, e Bruno Não Cálcicos Vérticos predominantemente com rochas da Unidade TN Banguê.

5 - As variações de teores superficiais de ferro e da frequência de ocorrência de corpos máfico-ultramáficos, nas unidades de metamorfitos de alto grau na área, é que possibilitaram as discriminações litológicas pela análise espectral. Com efeito, foi constatada uma boa correlação entre as variações tonais nas imagens, teores de ferro em superfície e os diferentes tipos de solos, para estes metamorfitos.

6 - Os levantamentos de vegetação permitiram caracterizar um controle geobotânico na área de estudo, representado por:

a) associação de catingueiras e pereiros predominantes, de porte arbustivo médio, nas Unidades Tanque Novo Banguê e Rio Curaçá Cachoeira, de

Delgado e Souza (1975). Para a Unidade Tanque Novo Bogô, não se dispõe de dados de levantamentos de vegetação que comprovassem a afirmação destes autores, sobre a predominância de carqueja e calumbi, nestes sítios.

Para leste, dentro da Unidade de biotita-gnaisses/quartzo-feldspato-gnaisses, a altura média dos indivíduos torna-se maior, da faixa arbustiva média a alta, representados predominantemente por catingueiras, fazendo-se também presente um estrato arbóreo subordinado de baraúnas, quixabeiras e catingueiras.

Dentro destes dois ambientes adjacentes, o gnáissico a leste e o granulítico/migmatítico a oeste, a percentagem de recobrimento vegetal não é elevada, aumentando para leste, como também parece aumentar o recobrimento dos solos por blocos e fragmentos de rochas.

b) maior densidade de espécimes e ausência de pereiros, nas unidades dos Grupos Canudos/Macururê e calcário secundário de Formação Caatinga. Normalmente, a percentagem de cobertura de vegetação nestas unidades é elevada, responsável em grande parte, pelas respostas tonais detectadas. As associações presentes nas unidades carbonáticas do Grupo Canudos e Formação Caatinga, são representadas predominantemente por marmeleiros, camarã, Lippia sp. e catingueiras.

A comparação dos dados colhidos para as áreas dos calcários/mármoreos do Grupo Canudos e mica-xistos/gnaisses de baixo grau, dos Grupos Canudos e Macururê, respectivamente, não forneceu elementos indicativos de diferenças marcantes em associações florísticas.

7 - Diferenças de densidade de cobertura vegetal, seriam controladas em grande parte, na área de estudo, por diferenças composicionais do substrato, não se dispondo no presente, de dados mais consistentes, que expliquem melhor os mecanismos dos interrelacionamentos observados.

Como exemplo deste fato, devem ser mencionados:

a) percentagem de cobertura vegetal baixa a nula, nas áreas de filitos do Grupo Canudos, acompanhada também por uma baixa taxa de recobrimento dos solos por blocos e fragmentos de rochas.

b) percentagem de cobertura vegetal mais elevada que a anterior, variando de aberta a fechada (30 a 80%), com predominância de fechada, associada com uma percentagem de recobrimento do solo por fragmentos e seixos de quartzo (dominantemente) e blocos e fragmentos de rochas, que pode atingir até 75% para os filitos/mica-xistos do Grupo Canudos.

c) percentagem de cobertura vegetal predominantemente fechada (80 a 90% em média), associada a maior taxa de recobrimento superficial do solo (em média 80 a 90%), para os mica-xistos e mica-xistos/gnaisses de baixo grau, dos Grupos Canudos e Macururê, respectivamente.

8 - De maneira geral, as diferenças espectrais ligadas às variações litológicas na área e registradas nas imagens MSS-Landsat 3, são também passíveis de caracterização por espectroscopia de campo e laboratório, atestada pela boa concordância entre as tendências de padrões de respostas espectrais detectadas.

As variações entre estas tendências, podem ser atribuídas a uma variedade de causas, tais como:

- a) influências atmosféricas;
- b) variação na geometria de medidas;
- c) diferentes condições de superfície dos alvos, em função das diferentes escalas de coletas de dados.
- d) as diferenças de fontes e condições de iluminação.

9 - Os dados espectrais de laboratório complementam em vários aspectos os dados de campo, principalmente na definição de bandas de absorção, indicativas de diferenças composicionais, ligadas aos íons férrico/ferrosos na superfície e na atenuação de influências, ligadas à variações na geometria das medidas de campo.

10 - Dentre os parâmetros que influenciam a reflectância dos solos estudados, destaca-se o conteúdo de ferro, o qual é responsável em grande parte pelas variações espectrais encontradas em campo e laboratório, especialmente para os solos desenvolvidos sobre as unidades gnáissicas e granulíticas.

11 - Os resultados gerais da pesquisa podem ser considerados como animadores, devendo ser situados como passos primeiros numa pesquisa em desenvolvimento, que procura abordar o crítico problema, ainda não avaliado, da discriminação espectral de rochas ou unidades litológicas, por sensores remotos orbitais.

Apesar de algumas perguntas permanecerem sem respostas, o trabalho desenvolvido mostrou que o tratamento por computadores das imagens, foi fundamental para que sutis diferenças de reflectância da superfície, pudessem ser enfatizadas e exploradas no seu significado geológico. Tal fato se investe de importância, se considerarmos o normalmente baixo desempenho

constatado na discriminação de variações litológicas, através de outros produtos de sensores remotos (mosaicos de radar, imagens Landsat convencionais, fotografias aéreas pancromáticas), nas extensas e arrasadas regiões do Proterozóico/Arqueano no Nordeste do país, como bem caracterizado por Inda e Barbosa (1978), na elaboração do Mapa Geológico da Bahia.

Neste aspecto, a despeito das várias considerações expostas nos capítulos pertinentes às análises e desempenhos dos vários realces, algumas constatações merecem destaque:

a) a informação espectral, restrita aqui aos dados extraídos do recobrimento Landsat da época seca, por si só não foi suficiente para representar a totalidade das variações litológicas na área, sendo imprescindível a utilização dos realces da época chuvosa - a informação temporal, quer complementando, quer confirmando os dados iniciais.

b) deve ser enfatizado que imagens Landsat realçadas por tratamento digital, são ferramentas adicionais valiosas à investigação geológica. Mesmo com processamentos adequados, ambiguidades foram constatadas, evidenciando com nitidez a importância da verificação de campo, a fim de que conclusões circunscritas ao campo fotointerpretativo, possam ser avaliadas e seus significados geológicos, confirmados no terreno.

c) para que a investigação pudesse ser desenvolvida a contento, foi fundamental uma boa experiência sobre as técnicas de processamento digital a serem utilizadas e, mais importante ainda, um conhecimento sobre o comportamento espectral de alvos naturais no intervalo do espectro analisado.

d) a composição colorida normal ou falsa-cor (Figura 5.8) e a imagem híbrida (Figura 8.3), mostraram ser os produtos mais adequados para representar as variações de reflectância, ligadas às diferenças do substrato litológico na área.

De maneira geral, as diferenças entre estes dois realces, se resumem a um melhor contraste visual entre as unidades litológicas de grande extensão espacial (Tanque Novo Bogô, Tanque Novo Banguê, Rio Curaçá Cachoeira, Grupos Canudos e Macururé), em detrimento de uma habilidade maior em discriminar diferenças espectrais de pequenos corpos (cálcico-silicatados, mafitos-ultramafitos, quartzito ferruginoso), para a composição híbrida e um comportamento oposto para a composição colorida normal.

Uma outra importante diferença entre os dois produtos, refere-se ao tempo e, obviamente, ao custo computacional requeridos para as duas composições coloridas, favorecendo neste caso a utilização da composição falsa-cor, pela simplicidade de processamento e pouco tempo exigido.

e) a composição colorida com os Componentes Principais, nas duas estações analisadas, mostrou um desempenho visual superior aos produtos de combinação de "ratios".

Embora a ressalva da ausência de correção atmosférica prévia nos dados "ratios" utilizados, não deva ser descartada, é certo que as pequenas variações de relevo na área e, provavelmente, a participação de diferenças de albedo nos contrastes tonais das unidades, contribuíram para o baixo desempenho destes realces. Cabe entretanto ressaltar a importância da análise individual dos produtos "ratios" isolados, na visualização empírica do comportamento espectral das Unidades Tanque Novo Banguê, Tanque Novo Bogô e Rio Curaçá Cachoeira (Figura 5.15).

Em relação aos Componentes Principais, seu melhor desempenho está ligado à eliminação da redundância espectral nos canais transformados, a qual é elevada principalmente nas bandas da época seca. Uma vantagem adicional dos Componentes Principais é o fornecimento de dados estatísticos da transformação dos canais, o que possibilita inferências estatísticas das participações dos canais no realce e favorece concepções interpretativas.

f) os resultados fornecidos pela utilização de critérios de seleção de atributos, na seleção dos melhores canais para combinações coloridas, confirmaram as expectativas iniciais. O 1º critério, utilizando-se da Distância JM^2 , mostrou ser o mais adequado e exprimiu "realisticamente" a potencialidade da técnica, como a alternativa para discriminações litológicas.

Em relação ao 2º critério, o baixo desempenho mostrado, desaconselha sua utilização, pelo menos em condições similares às da área de pesquisa.

Espera-se que com os melhoramentos futuros nos sistemas de recobrimentos por satélites orbitais e com o desenvolvimento das técnicas de extração de informações por computador, a abordagem aqui discutida, possa ser aplicada com sucesso em regiões com outras características ambientais, especialmente as mais úmidas.

BIBLIOGRAFIA

- ABRAMS, M. J. Computer image processing for geologic applications. Pasadena, JPL, 1978. 24 p. (JPL/NASA Pub. 78-34).
- ABRAMS, M. J. Lithologic Mapping. In: Siegal and Gillespie (eds), Remote Sensing in Geology, New York, Wiley, 1980. cap. 13, p. 381-418.
- AL-ABBAS, A. H.; SWAIN, P. H.; BAUMGARDNER, M. F. Relating organic matter and clay content to multispectral radiance of soils, Soil Science, 114 (6): 477-485, 1971.
- ALMEIDA, F. F. M. de O craton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRATON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, Salvador, 1981. Anais. Salvador, SME-CPM/SBG, 1981. p. 1 - 10.
- ALMEIDA, F. F. M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B. B. de; FUCK, R. Brazilian structural provinces: An introduction, Earth Science Review, 17: 1 - 29, 1981.
- ALMEIDA FILHO, R. Discriminação espectral das áreas de greisenização no granito da Serra da Pedra Branca-GO, através de imagens digitais do satélite Landsat 1. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32. Salvador, 1982. Anais. Salvador, SBG, 1982, v. 4, p. 1765-1770.
- AMARAL, G. Geologia pré-Cambriana da Região Amazônica. Tese de Livre Docência em Geologia. São Paulo, IGUSP, 1974. 212 p.
- ANDRADE LIMA, D. The caatinga's dominium. Revista Brasileira de Botânica, 4: 149-163. 1981.
- ANDRITZKY, G. Baugeschichte des prä-Bambuí-Kristallins im Gebiet Caratã-Bendegô, Distrikt UaUã, Nord-Bahia. Geologische Rundschau, 60: 1050-1061. 1971.
- BANDONES, R. Estudo da determinação de bandas para análise de anomalia geobotânica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2. Brasília, 1982. Anais. Brasília, INPE/CNPq. 1982.
- BARBOSA, O.; MACHADO, I. F.; WINGE, M.; COELHO, A. L.; BATISTA, M. B.; DYER, R. C.; COSTA, M. J.; CALHEIROS, J. A.; BRAUN, O. P. G. Geologia Econômica de parte da região do Médio São Francisco, Nordeste do Brasil. Rio de Janeiro, DFPM-DNPM, 1964. 99 p. (DFPM-DNPM - Bol. 140).

- BARBOSA, O. Tectônica no Nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 20., Rio de Janeiro, 1966. Rio de Janeiro, SBG, 1966, p. 68-72. Publicação 1.
- BAUMGARDNER, M. F.; KRISTOF, S. J.; JOHANNSEN, C. J.; ZACHARY, A. L. Effects of organic matter on the multispectral properties of soils. Proceedings of Indiana Academy of Science, 79: 413-422, 1970.
- BIRNIE, R. W.; DYKSTRA, J. D. Application of remote sensing to reconnaissance geologic mapping and mineral exploration. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 12., Manila, 1981. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1981. p. 20-26.
- BIRNIE, R. W.; FRANCICA, J. Remote detection of geobotanical anomalies related to porphyry copper mineralization. Economic Geology, 76 (3): 637-647. 1981.
- BLODGET, H. W.; GUNTHER, F. J.; PODWYSOCKI, M. H. Discrimination of rock types and alteration products in South Western Saudi-Arabia with computer enhancement of Landsat data. USA, NASA, 1978. 34 p. (NASA Tech. Pap. 1327).
- BØLVIKEN, B.; HONEY, F.; LEVINE, S. R.; LYON, R. J.; PRELAT, A. Detection of naturally heavy-metal poisoned areas by Landsat 1 digital data. Journal of Geochemical Exploration, 8: 457-471, 1977.
- BOWERS, S. A.; HANKS, R. J. Reflectance of radiant energy from soils. Soil Science, 100: 130-138. 1965.
- BRITO NEVES, B. B. de Regionalização geotectônica do pré-Cambriano Nordestino. Tese de Doutorado em Geologia. São Paulo, IGUSP, 1975. 198 p.
- BRITO NEVES, B. B. de ; SIAL, A. N.; BEURLIN, H. O sistema de dobramentos sergipano - análise do conhecimento. In: REUNIÃO PREPARATÓRIA PARA O SIMPÓSIO SOBRE O CRATON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS. Salvador, 1978. Anais. Salvador, SME/SBG. 1982. p. 369-391.
- BRITO NEVES, B. B. de; CORDANI, U. G.; TORQUATO, J. R. F. Evolução geocronológica do pré-Cambriano do Estado da Bahia. Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia. Salvador, SME-CPM. 1980. 101 p.
- CABRERA, A.; WILLINK, A. Biogeografia da América Latina. Washington, Secretaria General de la O. E. A. 1973.

- CÂMARA NETO, G.; ARAÚJO, E. O.; MASCARENHAS, N. D. A.; SOUZA, R. C. M. de
Realce visual de imagens de recursos naturais: aplicações em Geologia.
São José dos Campos, INPE, 1980. 53 p. (INPE 1952-RPE/267).
- CHAVEZ Jr., P. S. Atmospheric, Solar and M. T. F. corrections of ERTS Digital Imagery. Phoenix. American Society Photogrammetry Symposium, 1975. p. 69-69a.
- COLWELL, J. E. Vegetation canopy reflectance. Remote Sensing of Environment, 3: 175-183. 1974.
- CONDIT, H. R. The spectral reflectance of American soils. Photogrammetric Engineering, 36: 955-966, 1970.
- CONDIT, C. B.; CHAVEZ Jr., P. S. Basic concepts of computerized digital image processing for geologists. Washington, USGS. 1979. (USGS Bull. 1462).
- CONEL, J. E.; ABRAMS, M. J.; GOETZ, A. F. H. Study of alteration associated with Uranium Occurrences in Sandstone and its detection by Remote Sensing methods. Pasadena, JPL, 1978. (JPL 78-66, vol. I e II).
- COSTA, L. M. Surface soil color and reflectance as related to physico-chemical and mineralogical soil properties. Ph.D. Thesis, University of Missouri, 1979, 154 p.
- DELGADO, I. M. ; SOUZA, J. D. Projeto Cobre-Curaçã - Relatório Final - Geologia Econômica do Distrito Cuprífero do Rio Curaçã, Bahia - Brasil. Convênio DNPM-CPRM, Salvador, CPRM, 1975. 30 v.
- EGBERT, D. D.; ULABY, F. T. Effects of angles on reflectivity. Photogrammetric Engineering, 38 (6): 556-564, 1972.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - SERVIÇO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO E LEVANTAMENTOS DE SOLOS (EMBRAPA/SNLCS). Levantamento exploratório-reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco, Estado da Bahia. Convênio EMBRAPA-SUDENE, Recife, EMBRAPA, 1977, v. 1 e 2 (Boletim Técnico nº 52).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - SERVIÇO NACIONAL DE CONSERVAÇÃO E LEVANTAMENTOS DE SOLOS (EMBRAPA/SNLCS). Manual de Métodos de Análise de Solos. Rio de Janeiro, 1979.
- EMORY, Y.; YASUDA, Y.; FUKUHARA, M.; HIRATA, K. Trial production portable spectroradiometer. In: JAPAN SOCIETY PHOTOGRAMMETRY; Proceedings, To-

kio, 1972, p. 19-20.

- FIGUEIREDO, M. C. H. Geoquímica das rochas metamórficas de alto grau do Nordeste da Bahia - Brasil. Geologia e recursos minerais do Estado da Bahia; textos básicos. Salvador, SME-CPM, 1981. v. 4, p. 12-71.
- FOLK, L. A comparison chart for visual percentage estimation. Journal of Sedimentary Petrology, 21 (1): 32-33, 1951.
- FONTANEL, A.; BLANCHET, C.; LALLEMAND, C. Enhancement of Landsat imagery by combination of multispectral classification and Principal Component analysis. In: NASA EARTH RESOURCES SURVEY SYMPOSIUM, Houston, 1975. Proceedings. Washington, NASA, 1975, p. 991-1021 (NASA TMX-58168).
- FRANCICA, J. R.; BIRNIE, R. W.; JOHNSON, G. D. Geologic Mapping of the Ladakh Himalaya by computer processing of Landsat data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 14, Costa Rica, 1980. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1980. p. 773-782.
- GATES, D. M. Characteristics of soil and vegetated surfaces to reflected and emitted radiation. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 3. Ann Arbor, 1964. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1964. p. 573-600.
- GATES, D. M.; KEEGAN, H. J.; SCHLETER, J. C.; WEIDNER, V. R. Spectral properties of plant. Applied Optics, 4: 11-20. 1965.
- GAUSMANN, H. W. Reflectance of leaf components. Remote Sensing of Environment, 6: 1-9. 1977.
- GENERAL ELETRIC. Image 100 User Manual. Flórida. 1975. 119 p.
- GILLESPIE, A. R. Digital techniques of image enhancement. In: Siegal; Gillespie (eds.), Remote Sensing in Geology, New York, Wiley, 1980, cap. 6, p. 137-226.
- GOETZ, A. F. H.; BILLINGSLEY, F. C. Quality and use of ERTS radiometric information in geologic applications. In: ANNUAL CONFERENCE ON REMOTE SENSING IN ARID LAND, 4., Tucson, 1973. Tucson, ARIZONA UNIVERSITY, 1973, p. 136-147.
- GOETZ, A. F. H.; BILLINGSLEY, F. C.; GILLESPIE, A. R.; ABRAMS, M. J.; SQUIRES, R. L.; SHOEMAKER, E. M.; LUCCHITA, I.; ELSTON, D. P. Applications of ERTS images and image processing to regional geologic problems and geologic mapping in Northern Arizona. Pasadena, JPL; 1975. 188 p. (JPL

Tech. Rept. 32-1957).

- GROOTENBOER, J. The influence of seasonal factors on the recognition of surface lithologies from ERTS-1 imagery of the Western Transvaal. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3. Washington, D. C. 1973. Proceedings. Washington, D. C., NASA, 1974, v. 1, Sec. A, p. 643-655 (NASA SP - 351).
- HASUI, Y.; DEL'REY, L. J. H.; SILVA, F. J. L.; MANDETTA, P.; MORAES, J.A.C.; OLIVEIRA, J. G.; MIOLA, W. Geology and copper mineralization of Curaçá River Valley, Bahia. Revista Brasileira de Geociências, 12 (1-3): 463-474. 1982.
- HOFFER, R. M.; JOHANNSEN, C. J. Ecological potentials in spectral signature analysis. Purdue University, 1972, Lab. Rem. Sens. Tech. and Appl., W. Lafayette, IN. (LARS PRINT 011065-r).
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W.; LENHOFF, C. J. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: VII - acidic igneous rocks. Modern Geology, 4: 217-224. 1973a.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W.; LENHOFF, C. J. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: VIII - Intermediate igneous rocks. Modern Geology, 4: 237-244. 1973b.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W.; LENHOFF, C. J. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: IX - Basic and ultrabasic igneous rocks. Modern Geology, 5: 15-22. 1974.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W.; Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: XI - Sedimentary rocks. Modern Geology, 5: 211 - 217. 1976a.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W. Visible and near-infrared spectra of minerals and rocks: XII - Metamorphic rocks. Modern Geology, 5: 219-228. 1976b.
- HUNT, G. R. Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near-infrared. Geophysics, 42 (3): 501-513. 1977.
- HUNT, G. R.; SALISBURY, J. W. Assessment of Landsat filters of rock type discrimination based on intrinsic information in laboratory spectra. Geophysics, 43 (4): 738-747. 1978.
- HUNT, G. R.; ASHLEY, R. P. Spectra of altered rocks in visible and near-

- infrared. Economic Geology, 74: 1613-1629. 1979.
- HUNT, G. R. Electromagnetic Radiations: the communication link in Remote Sensing. In: Siegal and Gillespie (eds), Remote Sensing in Geology. New York, Wiley, 1980, cap. 2, p. 5-54.
- Ii, F. A. M.; DUTRA, L. V.; MENDES, C. L. Comparação entre os métodos de Entropia e Jeffreys-Matusita em problemas de seleção de atributos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2. Brasília, 1982. Anais. Brasília, INPE/CNPq. 1982.
- INDA, H. A. V.; PONSI, A. C.; PIRES, A. B.; GONÇALVES, J. C.; MOSSMANN, R. Projeto Rochas Básicas e Ultrabásicas de Euclides da Cunha. SME-CPM / PROSPEC, Salvador, 19 volumes, 1976.
- INDA, H. A. V.; BARBOSA, J. F. Texto explicativo para o mapa geológico do Estado da Bahia, escala 1:1.000.000. Salvador, SME-CPM. 1978. 137 p.
- JARDIM DE SÃ, E. F.; McREATH, I.; BRITO NEVES, B. B. de; BARTELS, R. L. Novos dados geocronológicos sobre o craton do São Francisco no Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29, Ouro Preto, 1976. Anais. Belo Horizonte, SBG, vol. 4, p. 185-204.
- JARDIM DE SÃ, E. F.; ARCHANJO, C. J.; LEGRAND, J. M. Structural and metamorphic history of part of the high-grade terrain in the Curaçã Valley, Bahia, Brasil. Revista Brasileira de Geociências, 12 (1-3): 251-262. 1982.
- JARDIM DE SÃ, E. F. Nota sobre o estilo estrutural e relações gnaisses vs. supracrustais no Greenstone Belt de Serrinha (BA). Ciências da Terra, 2: 8-13. 1982.
- JORDAN, H. O calcário Bambuí e o grupo Canudos na região de Curaçã, Bahia. Recife, SUDENE, 1968, p. 59-63 (Boletim de Estudos, nº 4, SUDENE).
- JORDAN, H. The late precambrian synclinorium of Curacã, Brasil. Geologisches Jahrbuch, 88: 617-628. 1971.
- KISHIDA, A.; RICCIO, L. Greenstone belt do rio Itapecuru (BA). Estratigrafia química e algumas idéias sobre a sua evolução geotectônica. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRATON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, Salvador, 1981. Anais. Salvador, SME-CPM/SBG, 1981. p. 63-72.
- KNIPLING, E. B. Physical and physiological basis of the reflectance of visible and near infrared radiation from vegetation. Remote Sensing of

- Environment, 1: 155-159. 1970.
- KOWALIK, W. S.; LYON, R. J. P.; SWITZER, P. Atmospheric Path-Radiance correction of Landsat for limonite discrimination. Stanford, SRSL, 1980. 43 p. (SRSL - Rept 80-8).
- KOWALIK, W. S. Atmospheric Correction to Landsat data for limonite discrimination. Doctoral Thesis, Stanford University, 1981. 365 p.
- KUMAR, R. Radiation from plants - reflection and emission: a review. W. Lafayette, Purdue University, In, 1972. 88 p.
- LADEIRA, E. A.; BROCKES Jr., H. Geologia das quadrículas de Poço de Fora, Esfomeado, Tanque Novo e Lajes, Distrito Cuprífero do Rio Curaçã, Bahia. Rio de Janeiro, DNPM, 1969, 2 v. (Relatório DNPM 116).
- LAWRENCE, R. D.; HERZOG, J. Geology and Forestry Classification from ERTS-1 digital data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 41(10): 1241-1251. 1975.
- LEVINE, S. Correlation of ERTS spectra with rock/soil types in Californian Grassland areas. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, 1975. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1975, p.975-984.
- LEINZ, V. Gênese da jazida de cobre de Caraíba, Ba. Revista Mineração e Metalurgia, 12 (72): 277-279, 1948.
- LEUBE, A. Prospecção de cobre no norte da Bahia. Hannover, MGA- SUDENE, 1972, v. 1, 98 p.
- LEWIS Jr., R.; MATTOSO, S. de Q.; BRIM, R. J. P. Reconhecimento geoquímico da Bacia do Rio Curaçã, Bahia. Rio de Janeiro, DFPM, 1964, 31 p. (Boletim 141).
- LINDENMAYER, Z. G. Evolução geológica do Vale do Rio Curaçã e dos corpos máficos-ultramáficos mineralizados a cobre. Tese de Mestrado em Geologia Econômica, Salvador, UFBA, I. G., 1981. 107 p.
- LIU, C. C.; CARRARO, C. C.; YAMAGATA, S. K. Interpretação geológica da região do alto e médio São Francisco baseada nas imagens MSS do ERTS-1. Tese de Mestrado em Sensores Remotos e Aplicações. São José dos Campos, INPE 1975. (INPE - 790 - TPT/018).
- LONGSHAW, T. G. Application of an analytical approach to field spectroscopy

- py in Geological Remote Sensing. Modern Geology, 5: 201-210. 1976.
- LYON, R. J. P. Mineral explorations of digitally processed Landsat imagery
In: ANNUAL W. T. PECORA MEMORIAL SYMPOSIUM, 1.; Dakota, 1975. Proceedings,
p. 271-292.
- MANDETTA, P. Aspectos geológicos e petrográficos das associações máfico-ultramáficas da região de Caraíba, Vale do Rio Curaçá, Bahia. Tese de Mestrado em Geologia Econômica, Salvador, UFBA, IG, 1983. 113 p.
- MATTOSO, S. Q. Média Móvel dos valores de cobre, usada em prospecção geoquímica regional no Distrito Cuprífero de Caraíba, Bahia. Tese - Professor Titular no Departamento de Geoquímica, UFBA, IG. 1975, 114 p.
- MASCARENHAS, J. F. A Geologia do centro-leste do Estado da Bahia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, Aracaju, 1973. Anais. Aracaju. SBG. 1973, v. 2. p. 35-66.
- MASCARENHAS, J. F. Evolução geotectônica do pré-Cambriano do Estado da Bahia. In: Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia, Textos Básicos, Salvador, SME-CPM, 1979, 2 v., 108 p.
- MASCARENHAS, J. F. O embasamento pré-Cambriano no Estado da Bahia e sua gênese. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRATON DO SÃO FRANCISCO, 1981, Anais. Salvador, SME-CPM/SBG, 1981, p. 34-38.
- MARSH, S. E.; LYON, R. J. P. Quantitative relationship of near surface spectra to Landsat radiometric data. Remote Sensing of Environment, 10: 241-261. 1980.
- MELHORN, W. N.; SINNOCK, S. Recognition of surface lithologic and photographic patterns in Southwest Colorado with ADP techniques. In: SIMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1, New Carrollton, 1973. Proceedings, Washington, NASA, 1973 p. 473-481.
- MELO Jr., S. L.; POUCHAIN, E. B. Relatório sobre a jazida de cobre da Caraíba, Estado da Bahia. DFPM-DNPM, Rio de Janeiro, 1962, 137 p. (Boletim 117).
- MEREMBECK, B. F.; BORDEN, F. Y.; PODWYSOCKI, M. H.; APPLGATE, D. N. Application of Canonical Analysis to Multispectral Scanner data. In: ANNUAL SYMPOSIUM ON COMPUTER APPLICATIONS IN THE MINERAL INDUSTRIES, 14. UNIVERSITY PARK, 1976. Proceedings. University Park, 1976. p. 867-879.

- MIRANDA, E. E. Ecologia das comunidades vegetais da Caatinga. I ENCONTRO SOBRE PESQUISAS NO SEMI-ÁRIDO. FORTALEZA, MARÇO de 1983, 7 p.
- MONTGOMERY, O. L. The effects of the physical and chemical properties of soil on the spectral reflectance of soils. M. Sc. Thesis; PURDUE UNIVERSITY, 1974.
- MORAES, L. C.; SILVA, J. F. O Distrito Cuprífero do Rio Curaçã no contexto geológico regional e possíveis relações de mineralizações de cobre com referenciais estratigráficos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30. Recife, 1978. Anais. Recife. SBG 1978, v. 4., p. 1533-1543.
- MYERS, V. I.; WIEGAN, C. L.; HEILMAN, M. D.; THOMAS, J. R. Remote Sensing in soil and water conservation research. In: SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 4., Ann Arbor, 1966. Proceedings, Ann Arbor, ERIM, 1966, p. 801-813.
- OLIVEIRA, J. A. D.; MACHADO, FILHO, L.; RIBEIRO, M. W.; LIU, C. C.; MENESES, P. R. Mapa Geológico do Estado do Rio de Janeiro baseado em imagens MSS do Satélite Landsat-1. Convênio DRM/INPE, Rio de Janeiro, DRM, 1976, 41 p.
- PARADELLA, W. R.; MENESES, P. R.; MATTOSO, S. Q. Interpretações automáticas de dados do Landsat na pesquisa de ilmenita de Floresta, Pernambuco. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2. Gravatal, 1979. Anais, Gravatal, MME/DNPM, 1979, p. 307-318.
- PARADELLA, W. R.; DUTRA, L. C. Filtragens digitais de imagens Landsat como técnica de auxílio visual na fotointerpretação geológica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31. CÂMBORIÚ, 1980. Anais. CÂMBORIÚ, SBG, 1980. p. 1765-1770.
- PARADELLA, W. R.; VITORELLO, I. Application of computerized techniques using Landsat images for geological studies. In: COGEO DATA IAMG MEETING FOR SOUTH AMERICA, 1. RIO DE JANEIRO. 1981. Anais. CENPES/PETROBRÁS, RIO DE JANEIRO, 14 a 17 Dez/1981.
- PARADELLA, W. R.; VITORELLO, I.; MONTEIRO, M. D. Avaliação de técnicas de tratamento por computador de dados digitais MSS-Landsat na discriminação litológica da Serra do Ramalho, Estado da Bahia. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2. BRASÍLIA. 1982. Anais. BRASÍLIA, INPE/CNPq. 1982.

- PARADELLA, W. R.; VITORELLO, I. O tratamento por computador de dados de sensores remotos: uma introdução de técnicas que visam aplicações geológicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32. Salvador, 1982a, Anais Salvador, SBG, 1982a. p. 1755-1764.
- PARADELLA, W. R.; VITORELLO, I. Sensores Remotos na Geologia: tendência atual e perspectivas futuras com dados de satélite. Ciências da Terra, 5: p. 19-23. 1982b.
- PARADELLA, W. R.; Processamento digital de imagens de sensores remotos aplicado a Geologia. In: Manual de Sensoriamento Remoto com ênfase em Geologia. São José dos Campos, CTCSS-SBG/INPE-CNPq, 1982, cap. 10, p.224-253.
- PEDREIRA, A. J.; KISHIDA, A.; TORQUATO, J. R.; MASCARENHAS, J. F. Inventário e reavaliação do conhecimento geológico da parte central do Craton do São Francisco. Salvador, SBG, 1978, Publicação Especial nº 3; p. 67-154.
- PODWYSOCKI, M. H.; GUNTHER, F. J.; BLODGET, H. Discrimination of rock and soil types by digital analysis of Landsat data. Maryland, Goddard Space Flight Center, 1977. (GSFC - X - 923 - 77 - 17).
- RAINES, G. L.; LEE, K. In situ rock reflectance. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing: 190-198, 1975.
- RAINES, G. L.; OFFIELD, T. W.; SANTOS, E. S. Remote Sensing and sub-surfaces definition on facies and structure related to uranium deposits. of Power River Basin; Wyoming. Economic Geology, 73: 1706-1723, 1978.
- RAINES, G. L.; CANNEY, F. C. Vegetation and Geology. In: Siegal and Gillespie (eds.), Remote Sensing in Geology, New York, Wiley, 1980, cap. 12, p. 365-380.
- REEVES, R. G.; ANSON, A.; LANDEN, D. Manual of Remote Sensing. American Society of Photogrammetry, 2. ed., Virgínia, 1975. 2123 p.
- RIBEIRO, E. A.; Ii, F. A. M.; MOREIRA, J. C.; DUTRA, L. V. Manual de usuário dos sistemas de tratamento de imagens digitais. LTID - INPE/CNPq . São José dos Campos, 1982. 158 p.
- RIVERAU, J. C. Notas de aula do curso de fotointerpretação. Ouro Preto, Escola de Geologia, 1972. XI Semana de Estudos,

- ROWAN, L. C. Iron absorption band analysis for the discrimination of iron rich zones. Washington, United State Geological Survey, 1972, 23 p. (USGS - Open File Rept).
- ROWAN, L. C.; WETLAUFER, P. H.; GOETZ, A. F. H.; BILLINGSLEY, F. C.; STEWART J. H. Discrimination of rock types and detection of hydrothermally altered areas in South Central Nevada by the use of computer-enhanced ERTS image. Washington, USGS Professional Paper, 1974. 35 p. (USGS Prof. Pap 883).
- ROWAN, L. C.; GOETZ, A. F. H.; ASHLEY, R. P. Discrimination of hydrothermally altered and inaltered rocks in visible and near-infrared multispectral images. Geophysics, 42 (3): 522-535. 1977.
- ROWAN, L. C.; ABRAMS, M. J. Evaluation of Landsat multispectral scanner images for mapping altered rocks in the East Tintic Mountains, Utah. Washington, United State Geological Survey, 1978, 136 p. (USGS - Open File Rept. 78-736).
- SANTISTEBAN, A.; MUNOZ, L. Application of Image Principal Component Techniques to the geological study of structural basin in Central Spain. In: MACHINE PROCESSING OF REMOTELY SENSED DATA SYMPOSIUM, 4., W. Lafayette, IN, 1977. Proceedings. New York, IEEE, 1977, p. 228-236.
- SCHMIDT, R. G. Exploration for porphyry copper deposits in Pakistan using digital processing of Landsat-1 data. Journal Research, 4 (1): 27-34, 1977. USGS.
- SIEGAL, B. S.; ABRAMS, M. J. Geologic Mapping using Landsat data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 42 (3): 325-337. 1976.
- SIEGAL, B. S.; GOETZ, A. F. H. Effect of vegetation on rock and soil type discrimination. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43 (2): 191-196. 1977.
- SLATER, P. N. Remote Sensing, Optics and Optical Systems. Addison-Wesley 1980. 515 p.
- SMEDES, H. W.; SPENCER, M.; THOMSON, F. J. Pre-processing of multispectral data and simulation of ERTS data channels to make computer terrain maps of a Yellowstone National Park test Site. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 7. Ann Arbor, 1971. Proceedings. Ann Arbor, ERIM, 1971. p. 2073-2094.

- SOHA, J. M.; GILLESPIE, A. R.; ABRAMS, M. J.; MADURA, D. P. Computer techniques for geological applications. Conference on Image processing technology, data sources and software for commercial and scientific applications. Pasadena, Ca. CALTECH, 1976, 20 p.
- SOARES, P. C.; FIORI, A. P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em Geologia. Notícias Geomorfológicas, 16 (32) 71-104. 1976.
- SOARES, P. C.; BARCELOS, P. E.; CSORDAS, S. M.; MATTOS, J. T.; BALIEIRO, M. G.; MENESES, P. R. Análise morfoestrutural regional com imagens de Radar e Landsat na Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA 3, Curitiba, 1981. Atas. Curitiba, SBG., 1981, v. 1.p. 201-216.
- STONER, E. R.; BAUMGARDNER, M. F. Physiochemical, site and bi-directional reflectance factor characteristics of uniformly moist soils. Purdue University, W. Lafayette, 1980. 94 p. (LARS Tech. Rept. 111679).
- STRECKEISEN, A. How should charnockitic rocks be named. Liege.Soc. Geol. Belgique. Liege. Geol. des dom. cristall. 1974 p. 345-360.
- STRECKEISEN, A. To each plutonic rocks its proper name. Earth Science Review, 12: 1-33. 1976.
- SWAIN, P. H.; KING, R. C. Two effective feature selection criteria for multispectral remote sensing. W. Lafayette. Purdue University, 1973. (LARS Information note 042673).
- SWAIN, P. H. Fundamentals of patten recognition in remote sensing. In: Swain and Davis (eds.) Remote Sensing: the quantitative approach. McGraw Hill Int. Book Co., New York, cap. 3, 1978. p. 136-187.
- TARANIK, J. V. Principles of computer processing of Landsat for geological applications. Washington, USGS. 1978. 50 p. (USGS Open file rept. 78-117).
- TURNER, F. J.; VERHOOGEN, J. Igneous and metamorphic petrology. McGraw-Hill., New York, 1960. 726 p.
- VINCENT, R. K. Ratio maps of iron ore deposits, Atlantic City District, Wyoming. In: SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1, New Carrollton, Ma, 1973. Proceedings, Washington, NASA, 1973. p. 379-386.

- VINCENT, R. K. Geochemical mapping by spectral ratioing. In: Smith (ed.) Remote Sensing applications for mineral explorations. Stroudsburg, Pa. Dowden, Hutchinson & Ross, Inc. 1977, cap. 10. p. 251-278.
- WATSON; R. D. Spectral reflectance and photometric properties of selected rocks. Remote Sensing of Environment, 2: 95-100. 1971.
- WILLIAMS, R. S.; CARTER, W. D. ERTS-1: a new window on our planet. Washington, USGS. Professional Paper. 1976. 362 p. (USGS Prof. Pap. 929).

APENDICE I (Geologia)

APÊNDICE II (Pedologia)

Nas tabelas listadas a seguir, são apresentados os resultados de análises físico-químicas de amostragens dos horizontes de perfis pedológicos, da área do Baixo Vale do Curaçá. Os dados da Tabela II.1 a II.6 referem-se à análises realizadas nos laboratórios da EMBRAPA/CPATSA, em Petrolina/PE e os dados da Tabela II.7 foram obtidos no Centro Técnico Aeroespacial (Instituto de Pesquisas e Desenvolvimento-IPD/PMR), em São José dos Campos, São Paulo.

A seguir, são especificados sumariamente os métodos de análise utilizados, cujos detalhes podem ser buscados no "Manual de Métodos de Análise de Solo", EMBRAPA/SNLCS (1979).

ANÁLISES FÍSICAS

Granulometria: determinada por sedimentação em cilindro de Koettgen, sendo usado um agitador de alta rotação, com solução normal de NaOH como agente de dispersão. Foram determinadas as 4 frações que se seguem: areia grossa (2-0,2 mm); areia fina (0,20-0,05 mm); silte (0,05 - 0,002 mm) e argila (> 0,002 mm).

Argila Natural: determinada por sedimentação em cilindro de Koettgen, sendo usado um agitador de alta rotação, com água destilada como agente de dispersão.

ANÁLISES QUÍMICAS

- . pH em água e KCl normal: determinados potenciométricamente em suspensão solo-líquido de aproximadamente 1:25 e o tempo de contato nunca inferior a 1 hora, agitando-se a suspensão imediatamente antes da leitura.
- . Matéria Orgânica: a percentagem de matéria orgânica é calculada, multiplicando-se o resultado do carbono orgânico por 1,724.
- . Carbono Orgânico: método volumétrico pelo bicromato de potássio e titulação pelo sulfato ferroso.
- . Fósforo Assimilável: método colorimétrico pelo ácido ascórbico, utilizando-se como solução extratora, HCl 0,05 N e H₂SO₄ 0,025 N.
- . Acidez Trocável: (H⁺ + AL⁺⁺⁺) e Alumínio Trocável: método volumétrico e titulação pelo hidróxido de sódio.

- . Cálcio e Magnésio Trocáveis (Ca^{++} e Mg^{++}): extraídos com solução normal de KCl e titulação pelo EDTA. Em outra alíquota do extrato de KCl, determinou-se Ca^{++} .
- . Sódio e Potássio Trocáveis (Na^+ e K^+): extraídos com KCl 0,05 N e determinados por fotometria de chama.
- . Valor S (bases trocáveis): obtido pela soma de Ca^{++} , Mg^{++} , K^+ e Na^+ .
- . Valor T (capacidade de troca de cations): obtido pela soma de S, H^+ e AL^{+++} .
- . Valor V (Saturação de bases): calculado pela fórmula $\frac{S \times 100}{T}$
- . Ferro Total: expresso por Fe_2O_3 (%), a partir de reação de 1 g de solo com $\text{HCl} + \text{HF} + \text{HClO}_4$, retomada com HCl e titulação com EDTA, usando - se ácido sulfosalicílico como indicador.

Tabela II.1

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICA, FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE PERFIS DA UNIDADE RIO CURAÇÁ CACHOEIRA: P.8 (migmatito); P.6 (migmatito); P.17 (gnaisse migmatizado/lente de anfibolito intercalada) - (EMBRAPA/CPATSA-PETROLINA/PE)

Amostra	PERFIL 8 (BNCVP)*				PERFIL 6 (BNCVP)*				PERFIL 17 (BNCV)**			
	8.1 0-10	8.2 13-15	8.3 25-35	8.4 70-90	6.1 0-6	6.2 10-20	6.3 30-35	6.4 40-45	17.1 0-10	17.2 25-30	17.3 40-80	17.4 60-70
Horizontes	43	44	19	52	30	21	54	44	31	27	-	-
Profundidade (cm)	26	23	9	18	25	14	19	23	26	16	-	-
Granulometria (%)	21	23	19	17	28	21	19	23	23	23	-	-
Areia Grossa	10	10	53	13	17	44	8	10	20	34	-	-
Areia Fina												
Silte												
Argila												
Complexo Sortivo (Eq. mg/100 g solo)												
Ca ⁺⁺	2,8	2,9	12,8	8,9	3,4	4,4	5,1	14,0	9,3	19,2	20,5	13,8
Mg ⁺⁺	2,3	2,1	11,3	6,9	1,3	1,7	1,9	8,0	3,4	4,7	5,4	5,1
Na ⁺	0,10	0,31	2,18	2,86	0,03	0,04	0,15	1,28	0,17	0,56	0,80	0,82
K ⁺	0,10	0,06	0,05	0,08	0,27	0,15	0,11	0,11	0,14	0,10	0,11	0,07
S	5,3	5,37	26,33	18,74	5,0	6,29	7,26	23,39	13,01	24,56	26,81	19,79
H ⁺ + AL ⁺⁺	1,16	1,32	0,83	0,0	0,33	0,66	0,50	0,5	0,83	0,33	0,0	0,0
CTC	6,46	6,69	27,16	18,74	5,33	6,95	7,76	23,89	13,84	24,89	26,81	19,79
V (%)	82	80	97	100	94	91	94	98	94	99	100	100
Matéria Orgânica (%)	0,75	0,63	0,87	-	0,80	0,80	0,54	-	0,52	0,68	-	-
% C	0,43	0,36	0,5	-	0,46	0,46	0,46	-	0,30	0,39	-	-
pH (H ₂ O)	5,6	5,5	6,0	7,8	6,8	6,4	6,0	6,8	6,5	7,0	7,6	7,4
pH (KCl)	5,0	4,3	5,0	6,2	6,6	5,5	5,2	5,3	5,6	6,2	5,9	6,5
P (ppm)	1,73	0,96	4,8	19,20	6,24	1,73	1,15	2,88	7,68	24,96	115,20	268,80
AL ⁺⁺⁺ (Eq. mg/100g)	0,05	0,10	0,05	0,0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,0	0,0	0,0
Argila Natural (%)	5	6	39	9	12	32	4	5	11	19	-	-

* BNCVP - Bruno Não Cálculo Vértico Planossólico

** BNCV - Bruno Não Cálculo Vértico

Tabela II.2

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICA, FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE PERFIS DA UNIDADE RIO CURAÇÁ CACHOEIRA: P. 12 (Granito a microclina); P. 16 (Migmatito); P. 19 (Migmatito) - (EMBRAPA/CPATSA-PETROLINA/PE)

Amostra	PERFIL 12 (BNC orto)*			PERFIL 16 (BNCVP)**			PERFIL 19 (BNCVP)***					
	12.1 0-8	12.2 10-20	12.3 25-35	12.4 100-200	16.1 0-15	16.2 15-30	16.3 30-50	16.4 80-100	19.1 0-15	19.2 18-22	19.3 25-35	19.4 90-110
Horizontes	36	33	23	-	48	41	20	-	38	33	18	-
Profundidade (cm)	32	28	15	-	20	24	11	-	30	24	13	-
Granulometria (%)	18	21	22	-	21	20	20	-	18	19	19	-
Areia Grossa	14	18	40	-	11	15	49	-	14	24	50	-
Areia Fina												
Silte												
Argila												
Complexo Sortivo (Eq. mg/100 g solo)												
Ca ⁺⁺	4,6	7,1	17,8	20,1	6,6	6,0	18,0	17,2	4,8	7,2	15,9	11,6
Mg ⁺⁺	3,3	3,3	7,0	7,7	1,8	2,0	10,2	7,3	2,4	3,2	8,3	6,7
Na ⁺	0,04	0,17	0,75	1,72	0,02	0,15	2,04	2,7	0,10	0,60	1,62	2,66
K ⁺	0,17	0,05	0,06	0,10	0,29	0,06	0,09	0,08	0,23	0,10	0,11	0,12
S	8,11	10,62	25,61	29,62	8,71	8,21	30,33	27,28	7,53	11,10	25,93	21,08
H ⁺ + AL ⁺⁺⁺	0,99	0,99	0,83	0,0	0,99	1,82	1,16	0,0	0,83	1,32	0,0	0,0
CTC	9,10	11,61	26,44	29,62	9,70	10,03	31,49	27,28	8,36	12,42	25,93	21,08
V (%)	89	91	97	100	90	82	96	100	90	89	100	100
Matéria Orgânica (%)	0,56	0,70	0,77	-	1,57	0,82	0,59	-	1,11	0,78	0,56	-
% C	0,32	0,40	0,44	-	0,90	0,47	0,34	-	0,64	0,45	0,32	-
pH (H ₂ O)	5,8	6,0	6,8	7,6	6,2	5,5	7,0	8,4	5,9	6,4	7,4	7,9
pH (KCl)	4,6	4,9	5,3	6,2	5,3	5,0	5,5	5,5	5,7	6,2	6,5	7,4
P (ppm)	12,48	3,84	20,16	53,0	19,20	2,88	2,88	62,40	3,84	0,77	3,36	53,76
AL ⁺⁺⁺ (Eq.mg/100g)	0,05	0,05	0,05	0,0	0,05	0,05	0,0	0,0	0,05	0,05	0,00	0,0
Argila Natural (%)	7	11	25	-	5	9	40	-	8	15	35	-

*BNC Orto - Bruno Não Cálculo Orto

**BNCVP - Bruno Não Cálculo Planossólico Ligeiramente Vértico

***BNCVP - Bruno Não Cálculo Vértico Planossólico

Tabela II.3

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICA, FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE PERFIS DAS UNIDADES Gcmc (P.2 - calcário metamórfico); Q-Caatinga (P.20 - caliche) e zona de contato Gcmc/TN Bogó (P.4) -(EMBRAPA-CPATSA/PETROLINA/PE)											
Amostra	PERFIL 2 (LAE)*			PERFIL 20 (RCBC)**			PERFIL 4 (P)***				
Horizontes	2.1	2.2	2.3	20.1	20.2	20.3	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
Profundidade (cm)	0-25	25-50	80-90	0-30	30-50	90-100	0-6	10-30	35-50	80-90	100+
Granulometria (%)											
Areia Grossa	27	25	19	29	-	-	46	49	45	35	25
Areia Fina	36	30	29	33	-	-	23	18	21	19	16
Silte	17	18	22	25	-	-	19	18	19	19	34
Argila	20	27	30	13	-	-	12	15	15	27	25
Complexo Sortivo (Eq. mg/100 g solo)											
Ca ⁺⁺	3,8	4,0	5,7	7,4	-	-	5,7	3,8	2,2	7,0	13,1
Mg ⁺⁺	2,0	1,3	1,4	0,9	-	-	1,4	1,4	1,3	4,2	6,9
Na ⁺	0,30	0,15	0,15	0,02	-	-	0,07	0,03	0,15	0,9	2,71
K ⁺	0,31	0,31	0,08	0,18	-	-	0,50	0,12	0,05	0,08	0,12
S	6,41	5,58	7,33	8,5	-	-	7,67	5,35	3,7	12,18	22,83
H ⁺ + AL ⁺⁺⁺	0,66	0,83	0,66	0,0	-	-	0,0	1,49	2,15	1,98	0,83
CTC	7,07	6,41	7,99	8,5	-	-	7,67	6,84	5,85	14,16	23,66
V (%)	91	87	92	100	-	-	100	78	63	86	96
Matéria Orgânica (%)	0,23	0,17	-	1,93	-	-	1,53	0,45	0,19	-	-
% C	0,13	0,10	-	1,11	-	-	0,88	0,26	0,11	-	-
pH (H ₂ O)	5,9	6,5	6,4	8,2	8,6	8,6	7,3	6,6	6,0	6,0	7,0
pH (KCl)	5,8	6,3	5,6	8,0	8,4	8,4	5,5	4,6	3,6	3,4	5,2
P (ppm)	1,92	0,96	0,77	0,29	-	-	3,07	0,29	0,19	0,19	0,48
AL ⁺⁺⁺ (Eq.mg/100g)	0,05	0,05	0,05	0,0	-	-	0,0	0,05	0,50	0,20	0,05
Argila Natural (%)	1	10	12	8	-	-	5	6	5	20	16

* LAE - Latossolo Amarelo Eutrófico

** RCBC - Rendzina Carbonatada B Carbonático

*** P - Planossolo

Tabela II.4

Amostra	PERFIL 5 (BNCV)*		PERFIL 18 (BNCVP)**		PERFIL 7 (BNCVP)**					
	5.1 0-10	5.2 20-30	5.3 70-80	18.1 0-10	18.2 25-35	18.3 45 [†]	7.1 0-10	7.2 10-13	7.3 30-60	7.5 80-90
Horizontes										
Profundidade (cm)										
Granulometria (%)										
Areia grossa	-	-	-	45	26	-	42	43	19	-
Areia Fina	-	-	-	27	15	-	21	25	11	-
Silte	-	-	-	18	22	-	26	24	25	-
Argila	-	-	-	10	37	-	11	8	45	-
ComplexoSortivo (Eq. mg/100 g solo)										
Ca ⁺⁺	6,6	18,2	20,4	4,2	11,5	11,3	2,7	3,3	17,0	11,8
Mg ⁺⁺	5,2	10,2	10,7	1,8	8,0	7,5	1,3	1,2	7,4	3,4
Na ⁺	0,30	2,50	3,67	0,08	1,29	2,27	0,13	0,44	4,74	5,33
K ⁺	0,34	0,15	0,10	0,20	0,14	0,13	0,21	0,11	0,12	0,12
S	12,44	31,05	34,87	6,28	20,93	21,20	4,34	5,05	29,26	20,65
H ⁺ + AL ⁺⁺⁺	0,83	0,0	0,0	0,83	1,49	-	0,66	0,66	0,00	0,00
CTC	13,27	31,05	34,87	7,11	22,42	-	5,0	5,71	29,26	20,65
V (%)	94	100	100	88	93	-	87	RR	100	100
Materia Orgânica (%)	1,03	0,75	-	1,11	1,11	-	0,54	0,68	0,45	-
% C	0,58	0,43	-	0,64	0,64	-	0,31	0,39	0,26	-
pH (H ₂ O)	6,3	7,6	7,7	6,2	5,9	6,6	5,5	5,5	7,5	8,0
pH (KCl)	5,5	6,3	6,5	5,5	4,8	5,4	5,1	5,0	6,0	6,3
P (ppm)	39,16	12,29	76,80	7,19	1,44	0,77	5,76	3,84	5,47	76,80
AL ⁺⁺⁺ (Eq. mg/100g)	0,05	0,0	0,0	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00	0,00
Argila Natural (%)	-	-	-	6	29	-	6	5	42	-

* BNCV - Bruno Não Cálculo Vértico

** BNCVP - Bruno Não Cálculo Vértico Planossólico

Tabela II.5

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICA, FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE PERFIS DA UNIDADE GCFx (P.3 - mica-xisto; P.9-filito carbonático; P.14 - filito) - (EMBRAPA/CPATSA, PETROLINA/PE)		PERFIL 3 (P) *			PERFIL 9 (CL) **		PERFIL 14 (L) ***			
Amostra	3.1 0-10	3.2 15-25	3.3 30-35	3.4 50-70	3.5 70+	9.1 0-7	9.2 10-20	9.3 60-70	14.1 0-20	14.2 20-40
Horizontes	38	33	35	14	-	23	17	-	24	46
Profundidade (cm)	42	40	35	21	-	21	15	-	25	21
Granulometria (%)	12	16	19	22	-	42	45	-	42	24
Areia Grossa	8	11	11	43	-	14	23	-	9	9
Areia Fina										
Silte										
Argila										
Complexo Sortivo (Eq. mg/100 g solo)										
Ca ⁺⁺	2,6	1,7	1,3	4,4	4,6	3,4	9,0	11,3	3,0	11,4
Mg ⁺⁺	1,1	0,7	0,8	7,8	7,8	1,3	3,0	9,3	1,3	3,1
Na ⁺	0,03	0,05	0,62	6,04	6,15	0,01	0,40	0,48	0,03	0,18
K ⁺	0,10	0,03	0,04	0,14	0,15	0,26	0,06	0,03	0,22	0,13
S	3,83	2,48	2,76	18,38	18,70	4,97	12,46	21,11	4,55	14,81
H ⁺ + AL ⁺⁺⁺	1,65	1,82	1,16	0,83	0,0	2,64	2,48	-	1,32	0,50
CTC	5,48	4,30	3,92	19,21	18,70	7,61	14,94	-	5,87	15,31
V (%)	70	58	70	96	100	65	83	-	78	97
Matéria Orgânica (%)	1,29	0,42	0,26	-	-	0,82	1,43	-	0,57	0,26
% C	0,74	0,24	0,15	-	-	0,47	0,82	-	0,33	0,15
pH (H ₂ O)	7,6	7,3	7,1	7,6	7,8	4,6	4,5	4,5	6,2	6,3
pH (KCl)	6,5	6,2	5,1	5,2	6,0	3,8	4,0	4,0	4,8	5,6
P (ppm)	3,84	3,46	0,48	2,4	19,20	1,44	0,96	0,86	3,84	17,28
AL ⁺⁺⁺ (Eq. mg/100g)	0,05	0,45	0,10	0,05	0,0	0,40	0,10	0,10	0,05	0,05
Argila Natural (%)	4	5	6	42	-	8	14	-	6	6

* (P) - Planossolo

** (CL) - Cambissolo Litólico

*** (L) - Litólico

Tabela II.6

RESULTADOS DAS ANÁLISES QUÍMICA, FÍSICA E FÍSICO-QUÍMICA DAS AMOSTRAS DE PERFIS DA UNIDADE TANQUE NOVO BOGÓ (P.1 - biotita-gnaíse) E UNIDADE GNAÍSE ORIENTAL (P.13, P.15 - biotita-gnaíse) - (EMBRAPA/CPATSA - PETROLINA/PE)		PERFIL 1 (PV)*				PERFIL 13 (PV)**				PERFIL 15 (PV)***			
Amostra	1.1	1.2	1.3	1.4	13.1	13.2	13.3	13.4	15.1	15.2	15.3	15.4	15.5
	0-7	7-20	30-40	70-80	0-15	17-25	30-40	50+	0-10	20-35	40		
Horizontes													
Profundidade (cm)													
Granulometria (%)													
Areia Grossa	42	39	38	29	45	25	27	-	50	33	-		
Areia Fina	29	27	16	24	29	17	19	-	22	21	-		
Silte	19	16	13	22	19	15	16	-	20	20	-		
Argila	10	24	33	25	7	43	38	-	8	26	-		
Complexo Sortivo (Eq. mg/100 g solo)													
Ca ⁺⁺	5,50	2,60	5,60	6,70	3,8	12,1	12,3	11,2	4,4	9,0	11,8		
Mg ⁺⁺	1,50	1,10	4,40	5,50	0,9	8,7	9,6	8,5	1,1	5,1	6,8		
Na ⁺	0,10	0,14	1,69	4,40	0,07	1,15	1,49	2,07	0,09	1,22	1,9		
K ⁺	0,22	0,07	0,05	0,08	0,33	0,17	0,14	0,18	0,32	0,13	0,21		
S	7,32	3,91	11,74	16,68	5,10	22,12	23,53	21,95	5,91	15,45	20,71		
H ⁺ + AL ⁺⁺⁺	0,99	1,32	1,65	0,00	0,83	1,98	0,99	-	0,83	0,33	0,0		
CTC	8,31	5,23	13,39	16,68	5,93	24,10	24,52	-	6,74	15,78	20,71		
V (%)	88	75	88	100	86	92	96	-	88	98	100		
Matéria Orgânica (%)													
% C	3,57	0,87	0,47	-	1,03	1,13	1,92	-	1,65	0,37	-		
pH (H ₂ O)	2,05	0,50	0,27	-	0,59	0,65	0,33	-	0,95	0,21	-		
pH (KCl)	6,00	4,70	5,0	7,60	6,2	6,0	6,1	6,5	6,0	7,3	7,0		
P (ppm)	5,60	4,30	3,80	6,50	5,7	4,2	4,7	5,0	5,6	6,9	4,6		
Al ⁺⁺⁺ (Eq. mg/100g)	4,80	0,48	0,38	24,96	3,36	0,48	1,92	57,60	7,19	2,4	9,60		
Argila Natural (%)	0,05	0,05	0,15	0,0	0,05	0,1	0,05	0,05	0,05	0,05	0,0		
	4	6	21	18	3	30	31	-	3	18	-		

*(PV) - Planossolo Vértico **(PV) - Planossolo Vértico ***(PV) - Planossolo tendência Vértica

Tabela II.7

FERRO TOTAL EXPRESSO EM Fe_2O_3 (%)		
HORIZONTE A		
$T_1 = 2,0$	$T_7 = 2,2$	$T_{15} = 1,6$
$T_2 = 3,2$	$T_8 = 3,2$	$T_{16} = 3,4$
$T_3 = 3,6$	$T_9 = 5,8$	$T_{17} = 4,4$
$T_4 = 2,5$	$T_{12} = 4,6$	$T_{18} = 2$
$T_5 = 5,8$	$T_{13} = 2,0$	$T_{19} = 3,3$
$T_6 = 2,6$	$T_{14} = 4,6$	$T_{20} = 1,4$

APÊNDICE III (Vegetação)

LISTA FLORÍSTICA

<u>Nome Vulgar</u>	<u>Nome Científico</u>	<u>Família</u>
1 - Erva	<u>Acalypha</u> sp.	Euphorbiaceae
2 - Erva com espiga	<u>Acalypha</u> sp.	"
3 - Erva	<u>Acanthaceae</u> sp.	Acanthaceae
4 - coleta nº 3349	<u>Acanthaceae</u> sp.	"
5 -	<u>Aeschynomene</u> sp.	Leg. Pap.
6 - Erva	<u>Maranthaceae</u> sp.	Amaranthaceae
7 - coleta nº 3347	<u>Maranthaceae</u> sp.	"
8 - coleta nº 3342	<u>Amaranthaceae</u> sp.	"
9 - Angico	<u>Anadenanthera macrocarpa</u> (Benth.) Brenan	Leg. Mim.
10- Angico manso	<u>Piptadenia</u> sp.	" "
11- Erva	<u>Aristida</u> sp.	Gramineae
12-	<u>Aristida mutabilis</u> TRIN. E RUPR.	"
13-	<u>Aristida sericea</u> EHRENB EX BOISS	""
14- Aroeira	<u>Astronium urundeuva</u> Engl.	Anacardiaceae
15- Baraúna	<u>Schinopsis brasiliensis</u> Engl.	"
16- Barba de bode	<u>Cyperus</u> sp	Cyperaceae
17- Beldroega	<u>Portucala oleracea</u> L.	Portucalaceae
18- Beldroega de ovelha	<u>Portucala elatior</u> Mart	"
19- Bom nome	<u>Maytenus rigida</u> Mart.	Celastraceae
20- Erva	<u>Borreria</u> sp.	Rubiaceae
21- Erva	<u>Brachiaria</u> sp.	Gramineae
22- coleta nº 3369	<u>Caesalpinia</u> sp.	Leg. Caes.
23- Cambarã	<u>Lantana camara</u> L.	Verbenaceae
24- Cansaço	<u>Cnidoscolus vrens</u> L.	Euphorbiaceae
25- Capim panasco	<u>Aristida setifolia</u> H. B. K.	Gramineae
26- Caroã	<u>Neoglaziovia variegata</u> Mez.	Bromeliaceae
27- Carqueja	<u>Calliandra depauperata</u> Benth.	Leg. Min.
28- Carrapicho de ovelha	<u>Tragus bertheronianus</u> Schult.	Gramineae
29- Catingueira	<u>Caesalpinia pyramidalis</u> Tull.	Leg. Caes.
30- Catingueira rasteira	<u>Caesalpinia microphylla</u> Mart.	" "
31- Erva	<u>Chloris</u> sp.	Gramineae
32- Cipõ gordo	<u>Cissus coccinea</u> Mart. ex. Planch.	Vitaceae

33- Coleta nº 3351	?	Vitaceae
34- Coleta nº 3352	?	
35- Coleta nº 3356	Compositae sp.	Compositae
36- Coroa de frade	<u>Melocactus bahiensis</u> (Br. et R.) Werderm	Cactaceae
37- Coroa de frade com muitas cabeças	<u>Melocactus</u> sp.	"
38- Coleta nº 3357	Convolvulaceae sp.	Convolvulaceae
39- Espinheiro	<u>Piptadenia viridiflora</u> (KUNTH) Benth.	Leg. Mim.
40- Espoleta	<u>Euphorbia</u> sp.	Euphorbiaceae
41- Coleta nº 3350	<u>Euphorbia</u> sp.	"
42- Erva	Euphorbiaceae sp.	"
43- Favela de galinha	<u>Cnidosculus bahianus</u> (Ule.) Pax. et K. Hoffm.	"
44- Faveleira	<u>Cnidosculus phyllacanthus</u> (Mull.Arg.) Pax et K. Hoffm.	"
45- Favelinha	<u>Croton lobatus</u> L.	"
46- Favinha	<u>Corchorus</u> sp.	Tiliaceae
47- Faxeiro	<u>Cereus squamosus</u> (?) Guerk	Cactaceae
48- Fedegoso	<u>Heliotropium</u> sp	Boraginaceae
49- Gramíneas (várias)		Gramineae
50- Coleta nº 3368	Gramineae sp	"
51- Imbiraçu	<u>Pseudobombax simplicifolium</u> A.Robyns	Bombacaceae
52- Imbira vermelha	<u>Melochia</u> sp.	Sterculiaceae
53- Imburana	<u>Bursera leptophloeos</u> (Mart.) Engl.	Burseraceae
54- trepadeira	<u>Ipomea</u> sp.	Convolvulaceae
55- Jurema	<u>Mimosa</u> sp.	Leg. Mim.
56- Jurema preta	<u>Mimosa hostilis</u> Benth.	" "
57- Jurema vermelha	<u>Mimosa</u> sp.	" "
58-	<u>Lippia</u> sp.	Verbenaceae
59- Malva alta	<u>Sida</u> sp.	Malvaceae
60- Malva de lavar prato	<u>Herissantia crispa</u> (L.) Briz.	"
61- Mandacaru	<u>Cereus jamacaru</u> P. DC.	Cactaceae
62- Maniçoba	<u>Manihot Pseudoglaziovii</u> Pax. et Hoffm.	Euphorbiaceae
63- Marmeleiro	<u>Croton</u> sp.	"
64- Mororõ	<u>Bauhinia heterandra</u> Benth.	Leg. Caes.
65- Mata pasto cabeludo	<u>Cassia sericea</u> Sw.	" "

66- Erva	<u>Merremia</u> sp.	Convolvulaceae
67- Erva	<u>Mollugo</u> sp.	Aizoaceae
68- Palmatória	<u>Opuntia palmadora</u> Britton et Rose	Cactaceae
69-	Papilionoideae sp.	Leg. Pap.
70- Pau branco	<u>Fraunhoferia multiflora</u> Mart. ou <u>Auxemma onocalyx</u> (Fr. All.) Bail	Celastraceae Boraginaceae
71- Erva	<u>Phyllanthus</u> sp.	Euphorbiaceae
72- Pinhão	<u>Jatropha</u> sp.	"
73- Pereiro	<u>Aspidosperma pyriforme</u> Mart.	Apocynaceae
74- Quebra faca	<u>Croton</u> sp	Euphorbiaceae
75- Quipã	<u>Opuntia inamoena</u> K. Sch.	Cactaceae
76- Quixabeira	<u>Bumelia Sertorum</u> Mart.	Sapotaceae
77- Rabo de raposa	<u>Arrojadoa rodantha</u> (Guerke) Br. et R.	Cactaceae
78- Rama de peba	<u>Ipomea subrevoluta</u> Choisy	Convolvulaceae
79- Rompe Gibão	<u>Erythroxylum</u> sp.	Erythroxylaceae
80- Erva	<u>Diodia rígida</u> Cham. e Sch.	Rubiaceae
81- Erva	<u>Tragus</u> sp.	Gramineae
82- Trevo	<u>Oxalis</u> sp.	Oxalidaceae
83- Umbuzeiro	<u>Spondias tuberosa</u> Arr. Cam.	Anacardiaceae
84- Erva	<u>Waltheria</u> sp.	Sterculiaceae
85- Xique-xique	<u>Pilosocereus gounellei</u> (Weber) Byl et Rowl	Cactaceae

Observação:

Leg. Caes. = Leguminosae da subfamília Caesalpinioideae

Leg. Mim. = Leguminosae da subfamília Mimosoideae

Leg. Pap. = Leguminosae da subfamília Papilionoideae.

Ponto	Estrato	Recobrimento	Espécies
1	4 a 6 m 2 a 3 m 0,5 a 1 m < 0,5 m	10 - 30% 10 - 30% 30 - 50% 40 - 60% "D"	catíngueira (19); baraúna; faveleira; espinheiro; quixabeira; angico catíngueira e pereiro (19); faveleira; catíngueira rasteria malva alta (19), pereiro, marmeleiro, xique-xique, <u>Aristida sericea</u> (19), barba de bode (29), <u>Heliotropium</u> sp., <u>Tragus</u> sp., <u>Compositae</u> sp. col. n.º 3356., <u>Convolvulaceae</u> sp. col. n.º 3357, <u>Mollugo</u> sp., <u>Cassia</u> sp., <u>Dio</u> <u>dia rígida</u> , <u>Waltheria</u> sp., <u>Euphorbia</u> sp. col. 3350, <u>Sida</u> sp., <u>Beldroega</u> , col. 3368, <u>Amaranthaceae</u> sp., favinha, <u>Chloris</u> sp Obs: solo com cascalhos e fragmentos de quartzo e blocos de migmatito. Recobrimento = 30%.
2	5 a 8 m 2 a 4 m 0,5 a 1 m < 0,5 m	10 - 25% 10 - 30% "D" 30 - 60% 40 - 60%	catíngueira (19), espinheiro, angico, aroeira pereiro (19), catíngueira (29), faveleira, jurema vermelha, <u>Caesalpinia</u> sp col. 3369 malva alta, pereiro idem ponto 1 Obs: vegetação em bosque
3	10 m 5 a 6 m 2 a 4 m 1 a 2 m 0 a 1 m	0 - 10% 0 - 10% 30 - 40% "D" 0 - 10% 40 - 60%	baraúna e angico (raro) baraúna, catíngueira, angico manso, quixabeira, faveleira. pereiro e catíngueira (19), jurema vermelha, espinheiro, imbirá vermelha, faveleira. malva alta (rara) idem ponto 1, com marmeleiro e faveleira. Obs: solo com blocos de gnaisses Recobrimento = 25%
4	> 7 m 2 a 4 m 0 a 1 m	0 - 10% 10 - 30% "C" 50 - 70% "C"	baraúna (rara) catíngueira (19), pereiro (29), jurema vermelha, faveleira, pinhão. gramíneas (várias), malva alta, <u>Waltheria</u> sp., pinhão. Obs: blocos e fragmentos de rochas e quartzo. Recobrimento = 40%
5	5 a 8 m 2 a 4 m 0,5 a 1 m < 0,5 m	10 - 25% 30 - 50% "D" 10 - 30% 40 - 60%	catíngueira (19), faveleira, baraúna, umbuzeiro, espinheiro. catíngueira (19), pereiro (29), mandacaru, pinhão, faveleira, marmeleiro malva alta, pinhão, catíngueira, pereiro, xique-xique, marmeleiro. gramíneas (19), barba de bode (29), <u>Mollugo</u> sp., beldroega, <u>Amaranthaceae</u> sp. col. n.º 3342, fedegoso, trevo, col. n.º 3351, <u>Borreria</u> sp., <u>Diodia rígida</u> Obs: solo com fragmentos de quartzo e blocos de gnaisses. Pequenos afloramentos Vegetação em bosque.
6	6 a 8 m 2 a 4 m 1 a 1,5 m 0 a 1 m	25 - 50% 10 - 30% "D" 10 - 30% 40 - 50%	quixabeira, catíngueira. catíngueira (19), bom nome, pinhão, faveleira, imburana, espinheiro. catíngueira, pereiro, marmeleiro, imbirá vermelha, malva alta. <u>Gramínea</u> sp., col. n.º 3368 (19), <u>Aristida</u> sp., coroa de frade achatada, beldroega, <u>Tragus</u> sp., <u>Compositae</u> sp., col. n.º 3356, fedegoso, <u>Euphorbia</u> sp. col. n.º 3350, <u>Amaranthaceae</u> sp., col. n.º 3347, <u>Diodia rígida</u> Obs: solo com blocos e poucos fragmentos de quartzo. Recobrimento = 20%
7	6 a 9 m 4 a 6 m 1 a 3 m 1 a 0,5 m < 0,5 m	0 - 10% 30 - 50% "C" 30 - 60% 50 - 70% "C" 0 - 5%	baraúna, jurema vermelha, catíngueira, baraúna, jurema preta. catíngueira (19), pereiro, faveleira, pinhão, xique-xique, marmeleiro, mandacaru carqueja e malva alta (19), catíngueira (29), faveleira, pereiro, marmeleiro barba de bode, fedegoso, <u>Euphorbia</u> sp., col. n.º 3350, <u>Aristida</u> sp., beldroega, col. n.º 3351 Obs: blocos de quartzo claros Recobrimento = 80%
8	8 a 10 m 6 a 7 m 2 a 3 m 1 m	10 - 25% 30 - 50% 40 - 60% "D" 10 - 30%	baraúna, faveleiro (19), umbuzeiro e catíngueira (29) marmeleiro (19), catíngueira, pinhão, catíngueira rasteria. malva alta
9	5 a 6 m	60 - 80% "D"	marmeleiro (19), angico (29), faveleira. Obs: afloramentos e vegetação herbácea.
10	8 m 4 a 7 m 3 a 4 m 0 a 1 m	25 - 50% 30 - 50% 60 - 80% "C" 50 - 70% "C"	angico (19), baraúna. catíngueira (19), jurema vermelha (29) <u>Lippia</u> sp. e camarã (19), catíngueira, jurema vermelha, cipó gordo <u>Acalypha</u> sp. (19), <u>Hibanthus</u> (29), <u>Oxalis</u> (39).
11	6 a 8 m 4 a 5 m 1 a 2 m 0 a 1 m	25 - 50% 60 - 80% "D" 10 - 30% 25 - 5%	catíngueira (19), aroeira (19), pau branco catíngueira (19), jurema (29), pau branco, mororô, rompe gibão catíngueira (19), <u>Lippia</u> sp. (29), quebra-faca (raro) <u>Compositae</u> sp. (19), trevo, espoleta, malva alta, col. n.º 3352. Obs: Vegetação preservada. Blocos de mármore e fragmentos de quartzo

ponto	Estrato	Recobrimento	Espécies
12	6 a 8 m 2 a 3 m 0 a 1 m	10 - 25% 60 - 80% "D" 0 - 5%	faveleira, mandacaru. marmeleiro (19), <i>Aeschynomene</i> sp., angico, pinhão, <i>Lippia</i> sp., malva alta, <i>Borreria</i> sp., <i>Amaranthaceae</i> sp., col. n° 3342, <i>beldroega</i> , barba de bode, <i>Euphorbia</i> sp., quipa, gramíneas, <i>Mollugo</i> sp., col. n° 3351, carrapicho de ovelha, favinha, mata pasto cabeludo, <i>Acalipha</i> sp., malva de folha larga, <i>Euphorbia</i> sp. col. n° 3350, favelinha. Obs: Blocos de calcário secundário cinza
13	6 a 8 m 3 a 5 m 0 a 1 m	50 - 75% 60 - 80% "D" 0 - 5%	aroeira, pau branco. cattingueira (19), <i>Lippia</i> sp. (29), quebra-faca, jurema vermelha, pau branco. <i>Compositae</i> sp., de 30 cm de altura, trevo, col. n° 3352, espoleta, malva alta.
14	4 m	0 - 10%	faveleira (19), xique-xique (29), cattingueira, mandacaru, umbuzeiro, jurema preta, angico, imburana (raras). Obs: manchas claras à beira da estrada, sem herbáceas. Afloramentos de mármore;
15	4 a 8 m até 3 m	60 - 80% "D" 60 - 80%	baraúna, faveleira, umbuzeiro, angico, imburana, cattingueira <i>Lippia</i> sp., mata pasto cabeludo, pereiro, maniçoba, faveleira, gramínea sp. Obs: vegetação em bosques, nos bosques mais seixos e fragmentos de quartzo que nas manchas claras.
16	4 a 7 m 1,5 a 3 m 0 a 1 m	60 - 80% 60 - 80% "D" 5 - 25%	pau branco, pereiro, cattingueira, espinheiro, angico, baraúna, maniçoba, quixabeira, mandacaru, umbuzeiro. <i>Lippia</i> sp., quebra-faca. cansação, <i>Acalipha</i> sp., col. n° 3351, col. n° 3352, trevo, quipã, rabo de raposa, <i>Merrenia</i> sp.
17	8 m 4 a 5 m 0,5 a 2,5 m 0 a 1 m	25 - 50% 30 - 50% 60 - 80% "D" 0 - 5%	baraúna. cattingueira, (19), faveleira (29), angico, imburana, jurema vermelha, jurema preta, faxeiro, favela de galinha, pereiro, angico de bezerro. quebra-faca (19), cattingueira (29), pinhão, mandacaru, marmeleiro, coroa de frade, caroã. Obs: solo com cobertura de fragmentos de quartzo. Recobrimento = 90%
18	8 m 2,5 a 5 m 2 a 2,5 0 a 1 m	10 - 25% 60 - 80% "C" 60 - 80% "C" 0 - 5%	faxeiro (19), mandacaru, baraúna (rara) cattingueira (19), favela de galinha, angico, faxeiro, jurema preta. marmeleiro (19), quebra-faca, xique-xique, cattingueira. capim panasco, malva de lavar prato, col. n° 3351, trevo, <i>Acalipha</i> sp., favelinha, caroã, coroa de frade, carqueja, rabo de raposa. Obs: Recobrimento = 85%
19	2 a 3 m 1 a 2 m 0 a 1 m	10 - 30% "D" 30 - 50% 5 - 25%	cattingueira (19), pinhão (29), faveleiro (39), mandacaru, marmeleiro, cipõ gordo, cattingueira rasteira, pinhão (19), xique-xique (29), faveleira, cattingueira, marmeleiro, carqueja, quebra-faca, malva alta, <i>Acanthaceae</i> sp. col. n° 3349 (19), <i>Borreria</i> sp. (29), col. n° 3352, mata pasto cabeludo, <i>Aristida Mutabilis</i> , <i>Gramíneae</i> sp., quipã, <i>Tragus</i> sp., <i>beldroega</i> . Obs: Cascalhos e seixos de quartzo e blocos de xistos (subordinados) Recobrimento = 75%
20	2 a 3 m 2 m	30 - 50% 60 - 80% "D"	favela de galinha, jurema vermelha. marmeleiro e cattingueira (19), quebra-faca. Obs: vegetação em bosques (manchas)
21	6 m 2 a 3 m 2 m 0 a 1 m	30 - 50% 30 - 50% "D" 10 - 30% 5 - 25%	cattingueira (19), imburana, angico, faxeiro, faveleira, aroeira. cattingueira, jurema, faveleira, pinhão, quebra-faca. xique-xique, marmeleiro. caroã, <i>Acanthaceae</i> , col. n° 3349, <i>Borreria</i> sp., col. n° 3352, mata pasto cabeludo, <i>Aristida Mutabilis</i> , <i>Gramíneae</i> sp., quipã, <i>Tragus</i> sp., <i>beldroega</i> . Obs: Zona menos secundarizada que as anteriores.
22	8 a 9 m 4 a 6 m 2 a 4 m 1 a 2 m 0 a 1 m	50 - 80% "D" 30 - 50% 30 - 50% 10 - 30% 50 - 70%	imbiraçu, (19), aroeira (29), angico, faxeiro, baraúna, imburana. jurema vermelha, umbuzeiro, favela de galinha, faveleira. pinhão, jurema vermelha. malva alta (19), xique-xique e quebra-faca (29), marmeleiro, pinhão, rama de peba, faveleira, palmatória, carqueja, favela de galinha. caroã, <i>Acalipha</i> sp., <i>Borreria</i> sp., mata pasto cabeludo, <i>Gramíneae</i> sp. <i>Aristida</i> sp., <i>Acanthaceae</i> sp. Obs: Blocos e afloramentos de mica-xistos com pouco cascalho de quartzo.
23	4 a 6 m 2 a 4 m 0 a 1 m	60 - 80% "D" 60 - 80% 5 - 25%	faveleira, faxeiro, aroeira, cattingueira, mandacaru. quebra-faca (19), cattingueira (29), maniçoba (39), pinhão, imburana, favela de galinha, xique-xique, rama de peba, jurema vermelha. <i>Gramíneae</i> sp. e mata pasto cabeludo (19), <i>Borreria</i> sp., trevo, coroa de frade, caroã. Obs: Fragmentos de quartzo e blocos de rocha (subordinados) Recobrimento = 75%

Ponto	Estrato	Recobrimento	Espécies
24	6 a 8 m 3 a 4 m 2 m 0 a 1 m	10 - 25% 10 - 30% 30 - 50% "D" 50 - 70%	faveleira, imbiracu, aroeira. catingueira (10), pinhão, faxeiro, umbuzeiro. quebra-faca (10), catingueira, xique-xique, malva alta, Ipomea sp., mata pasto cabeludo (10), carqueja, Borreria sp., caroa, Aristida sp., Acalipha sp., favelinha, jurema vermelha, cora de frade. Obs: Seixos de quartzo, blocos e afloramentos de mica-xistos. Recobrimento = 75%
25	10 m 2 a 4 m 1 a 2 m 0 a 1 m	0 - 10% 30 - 50% "D" 10 - 30% 0 - 5%	baraúna(rara). faveleira (10), catingueira rasteira (20), imburana, mandacaru, jurema preta, pinhão, catingueira. malva alta (10), catingueira rasteira, faveleira, marmeleiro, carqueja. Waltheria sp., Tragus sp., mata pasto cabeludo. Obs: Zona arrasada, solo amarelado com seixos de quartzo e camada fina de areia grossa., quase sem cascalho. Blocos de mármore.
26	8 a 10 m 3 a 4 m 2 m 1 m 0 a 1 m	80 - 50% 60 - 80% "C" 30 - 50% 30 - 50% 0 - 5%	baraúna (10), angico (20), aroeira (30). catingueira (10), faveleiro (20), pinhão, imburana. Lippia sp., cambara, catingueira malva alta (10), carqueja. Tragus sp. Obs: Fragmentos de quartzo e blocos de mármore.
27	> 8 m 5 a 8 m 3 m 0 a 1 m	10 - 25% 30 - 50% 60 - 80% 5 - 25%	baraúna. catingueira, angico, mandacaru. quebra-faca (10), jurema vermelha, marmeleiro (raro). mata pasto cabeludo, malva de lavar prato, Phyllanthus sp., col. n° 3352, Gramineae sp., fedegoso, jurema vermelha.
28	9 m 4 a 6 m 1 a 3 m 0 a 1 m	25 - 50% 30 - 50% 60 - 80% "D" 5 - 25%	aroeira (10), catingueira (20), faxeiro, baraúna, faveleira (rara) catingueira (10), jurema preta, jurema vermelha, mandacaru, favela de galinha, Papilionoideae sp. quebra-faca (10), pinhão, marmeleiro, carqueja. Aristida sp., Brachiaria sp., Acalipha sp. caroa, mata pasto cabeludo, Compositae col. n° 3356, Borreria sp., col. n° 3351, Tragus sp. Waltheria sp. trevo, coroa de frade.
29	8 a 2 m 4 a 5 m 1 a 3 m 0,5 a 1 m < 0,5 m	10 - 25% 10 - 30% 10 - 30% 80 - 90% "D" 0 - 5%	baraúna, aroeira. catingueira, aroeira, jurema preta, baraúna. catingueira, catingueira rasteira, pinhão, xique-xique, mandacaru, marmeleiro. carqueja (10), malva alta, pinhão. Cyperus sp., Aristida sp., Waltheria sp., Borreria sp., coroa de frade, trevo, malva de lavar prato, Selaginella sp. (jerico). Obs: solo com fragmentos de quartzo e blocos de mica-xistos. Recobrimento = 80%
30	6 a 9 m 2,5 a 5 m 1,5 a 2,5 m 0 a 1 m	10 - 25% 80 - 90% "C" 60 - 80% "C" 5 - 25%	catingueira, jurema branca, faxeiro. jurema branca e catingueira (10), pinhão, angico, Aeschynomene sp., maniçoba, faxeiro, jurema vermelha, imburana, aroeira, burra leiteira. quebra-faca (10), carqueja, palmatória, pinhão, xique-xique, mororô, rabo de re- posa, faveleira, marmeleiro, favela de galinha, moleque duro. caroa, Gramineae sp., palmatória, pinhão, col. n° 3351, macambira. Obs: fragmentos e seixos de quartzo. Recobrimento = 90%
31	> 6 m 2,5 a 4 m 1 a 2,5 m 1 m 0 a 1 m	30 - 50% 80 - 90% "C" 30 - 50% 60 - 80% "C" 0 - 5%	faveleira (10), aroeira, umbuzeiro. jurema vermelha, jurema branca e jurema preta (10), faveleira, pinhão, catinguei- ra, angico, mandacaru, faxeiro. quebra-faca, catingueira rasteira. carqueja (10), cipo gordo, pinhão, burra leiteira, pereiro, palmatória, xique- xique. trevo, Aristida sp., Borreria sp., Acalipha sp., coroa de frade, beldroega, espo- leta, Cyperus sp., jerico. Obs: fragmentos de quartzo/blocos de rocha. Recobrimento = 80%
32	6 a 8 m 2 a 4 m 0 a 1 m 0 a 1 m (herbáceo)	25 - 50% 50 - 70% 30 - 50% 5 - 25%	faxeiro (10), imbiracu, faveleira, burra leiteira, catingueira, umbuzeiro, angico, jurema vermelha. quebra-faca e jurema vermelha (10), mororô (20), catingueira, jurema preta, fave- la de galinha, burra leiteira, angico, marmeleiro, mandacaru, baraúna, xique-xique. macambira de lajedo, caroa, xique-xique, mororô, faveleira, carqueja, marmeleiro, macambira, baraúna. coroa de frade, Borreria sp., Corchorus sp. Obs: Esta caatinga parece bem particular com sinais de degradação.

* Embora este estrato tenha a altura comumente atribuída ao estrato herbáceo, ele deve ser distinto, pois todos os seus componentes não são ervas.