

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL APLICADO À
PROSPECÇÃO MINERAL NAS PROVÍNCIAS ESTANÍFERAS
DE GOIÁS E RONDÔNIA: UMA CONTRIBUIÇÃO
METODOLÓGICA

Raimundo Almeida Filho

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Amaral

TESE DE DOUTORAMENTO

Área de Concentração: Geologia Geral e de Aplicação

São Paulo
1983

SEC. DE POS - GRADUAÇÃO

Av. Prof. Lucio Martins Rodrigues 42
Travessa 5, 109
05508 São Paulo SP
Cx/P 20899, 01498 São Paulo SP
Tel. 011/211 2847

RELATÓRIO
DEFESA DE TESI

CANDIDATO: RAIMUNDO ALMEIDA FILHO

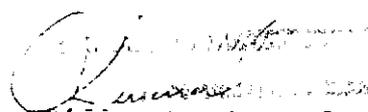
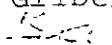
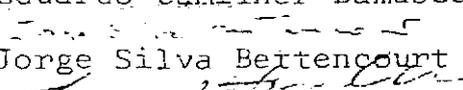
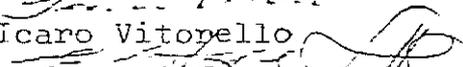
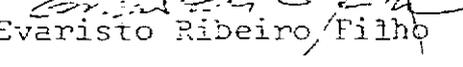
TÍTULO: SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL APLICADO À PROSPECÇÃO MINERAL
NAS PROVÍNCIAS ESTANÍFERAS DE GOIÁS E RONDÔNIA: UMA CONTRI
BUIÇÃO METODOLÓGICA

O trabalho do candidato versou sobre a aplicabilidade de técnicas de sen
soriamento remoto à prospecção mineral nas províncias estaníferas de Goiás e Rondõ
nia. Seu principal mérito consiste na proposição de metodologias para a localiza
ção de zonas potencialmente mineralizadas. Durante a arguição respondeu a contendo
as questões colocadas pelos examinadores, demonstrando domínio do assunto.

Levando-se em consideração a tese e sua defesa, a Comissão
Julgadora atribuiu-lhe as seguintes notas:

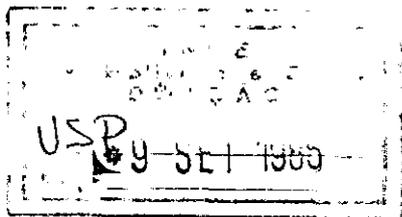
Dr. Gilberto Amaral	-	10,0
Dr. Eduardo Camilher Damasceno	-	10,0
Dr. Jorge Silva Bettencourt	-	9,5
Dr. Icaro Vitorello	-	10,0
Dr. Evaristo Ribeiro Filho	-	9,5
Média	=	9,8

São Paulo, 12 de março de 1984

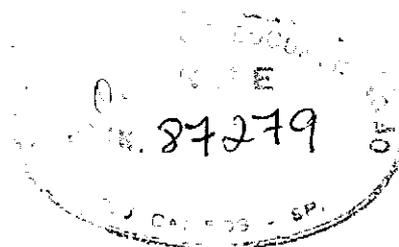

Dr. Gilberto Amaral

Dr. Eduardo Camilher Damasceno

Dr. Jorge Silva Bettencourt

Dr. Icaro Vitorello

Dr. Evaristo Ribeiro Filho

ERRATA

PÁGINA	PARÁG.	ONDE SE LÊ	LEIA-SE
v	Abstr.	tolls	tools
v	"	an	and
6	3	Reeves et alii (1975,	Reeves et alii (1975),
13	6	Bolviken et alii(1977)	Bólviken et alii (1977)
22	3	podem	possam
23	2	Davis and Livandowski (1976)	Davis and Levandowski (1976)
24	2	capazes de ser	capazes de serem
39	1	(Vicent,1973;	(Vincent, 1973;
39	1	cancela de co-seno	cancela o co-seno
49	3	lhes permitem	podem permitir
49/112	4/2	"campo sujo"	"campo sujo de cerrado"
49/112	4/2	"campo limpo"	"campo limpo de cerrado"
53	1	Macambo	Mocambo
56	Tabela	GARIMPOS	PROSPECTOS
56	"	ASSEMBLÉIA MINERALÓGICA	ASSEMBLÉIA DE ELEMENTOS
56	1	Bettencourt et lii (1981)	Bettencourt et alii (1981)
61	1	superfície	superfície
62	1	mais ácidos	menos férteis
68	1	A alta acidez dos solos	Os solos menos férteis
112	3	aparecer	aparecerem
158	8	Shouth America	South America
159	4	BENTTENCOURT, J.S.	BETTENCOURT, J.S.
159	8	Rocks classes	Rock classes
164	2	feature and	feature with
169	5	SANTOS,R.B; INNOCENCIO,N.R.S.	SANTOS,L.B.; INNOCENCIO, N.R.; GUIMARAES,M.R.S.



3 / 85



Aos meus pais, Raimundo e Creusa.

À Lila, Aline, Beatriz e ao Victor.

AGRADECIMENTOS

O autor deseja expressar seus agradecimentos às seguintes entidades e pessoas, sem a colaboração das quais esta pesquisa não teria sido realizada:

Ao Instituto de Pesquisa Espaciais (INPE) pelo fornecimento dos meios à realização do trabalho;

À empresa de Mineração Oriente Novo S.A. pelo suporte a trabalhos de campo em Goiás e em Rondônia, descrições de lâminas petrográficas, análises químicas de rochas e consultas a relatórios internos;

À Metais de Goiás S.A. (METAGO) pelo suporte a trabalhos de campo, descrição de lâminas petrográficas e consultas a relatórios internos;

À Rio Doce Geologia e Mineração (DOCEGEO) pelo fornecimento de dados petrográficos e acesso a relatórios internos, referentes ao maciço da Serra da Pedra Branca, em Goiás;

Ao professor Dr. Gilberto Amaral, orientador deste trabalho.

Ao professor Dr. Jorge S. Bettencourt pelas discussões, sugestões e companhia durante a etapa de campo em Rondônia.

Ao professor Dr. Eduardo C. Damasceno pelas discussões, sugestões e colaboração durante a realização dos trabalhos em Goiás.

Ao Dr. Ícaro Vitorello pela colaboração e apoio durante toda a realização deste trabalho;

Aos colegas Nassri Bittar, Ricardo Lobo, Gilmar Pagotto, José Lincoln, Oswaldo Moreira e André Laguna pela companhia em diferentes etapas de campo em Goiãs;

Aos colegas Maria Celene, Sílvio Bressan e Flávio Soares, pelo auxílio na descrição de lâminas petrográficas;

Aos colegas Bruno Payolla e Onofre Pinho pela colaboração durante a etapa de campo em Rondônia e pelo fornecimento de dados ainda inéditos sobre o maciço Pedra Branca;

Ao laboratório de laminação do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo;

A Marciana Ribeiro pelo auxílio na referenciação bibliográfica;

A Beatriz Parreiras pela obtenção de algumas fotos que ilustram o texto;

A Glória Bertti pela revisão final do texto;

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

Discute-se neste trabalho uma linha metodológica de utilização de dados de sensoriamento remoto orbital, como ferramenta de auxílio a campanhas de prospecção mineral, exemplificada no estudo de corpos graníticos das Províncias Estaníferas de Goiás e de Rondônia. Inicialmente faz-se uma discussão do papel dos diversos parâmetros que interagem para compor o sinal gravado pelos sistemas sensores. São parâmetros fundamentais no processo de análise e interpretação de dados multiespectrais em geologia; as características fisiográficas da região; as características geológicas do "alvo" pesquisado; o papel da variáveis sazonais (cobertura vegetal e condições de iluminação); as características do sistema sensor (resoluções); e as técnicas de realce de imagens digitais através do emprego de computadores. A utilização de imagens digitais/multiespectrais do sensor MSS-LANDSAT, levando em consideração todos os aspectos acima, permitiu a discriminação de áreas de ocorrências de fácies greisenizadas ("lato sensu") associadas a corpos graníticos da Província Estanífera de Goiás, as quais são controles litológicos de mineralizações de Sn, W, Nb-Ta, Li, F, etc. O parâmetro básico que permitiu a discriminação destas áreas através das imagens orbitais foi o comportamento espectral destes tipos litológicos e/ou de suas associações específicas de rocha-solo-vegetação. Em Rondônia, dadas às características da região (profundo manto de intemperismo, coberturas sedimentares quaternárias e floresta tropical), não é possível a discriminação espectral de litotipos específicos. No entanto, mesmo sob essas condições, a imagem LANDSAT realçada por computador, mostrou os traços geológicos principais e a estruturação do maciço granítico estudado, feições estas não observadas através de fotografias aéreas ou de imagens de RADAR. Os resultados obtidos em Goiás e em Rondônia mostram que a utilização adequada de imagens de sensoriamento remoto orbital pode contribuir de maneira efetiva na orientação a trabalhos de prospecção mineral, proporcionando economias razoáveis de tempo e de recursos na etapa de levantamentos de campo.

ABSTRACT

This study presents a line of procedures for the utilization of orbital remote sensing data as supporting tools in mineral prospecting campaigns, exemplified here by studies in granitic bodies of the Tin Provinces of Goiás and Rondônia. Initially, a discussion is made on the role of several interacting parameters that compose the recorded signal in sensor systems. The fundamental parameters in the processes of analysis and interpretation of multispectral data in geology are: the physiographic characteristics of the region; the geological characteristics of the target investigated; the role of the seasonal variables (vegetation cover and illumination conditions); the characteristics of the sensor system (resolutions); and the use of computer enhancement techniques applied to digital images. Taking into consideration the above aspects, the utilization of LANDSAT multispectral/digital images has allowed the discrimination of areas with occurrences of greisenized facies ("lato sensu") associated to the granitic massifs in the Goiás Tin Province. The greisens are lithological controls of mineralizations in Sn, W, Nb-Ta, Li, F, and others. The basic parameter that allowed the discrimination of these areas in orbital images was the spectral behaviour of these lithological types and/or of their specific rock-soil-vegetation associations. In Rondônia, due to the particular characteristics of the region (deep weathering, Quaternary sedimentary covers, and Tropical Forest), a spectral discrimination of specific lithotypes is not possible. However, even under these adverse conditions, computer enhanced LANDSAT images showed the main geological and structural features of the studied granitic massif. These were not observed in aerial photography or RADAR images. The results obtained in Goiás and Rondônia show that an adequate utilization of orbital remote sensing images can contribute for the orientation of field work, yielding reasonable saving in time and resources during mineral prospecting campaigns.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xiii
PARTE I - FUNDAMENTOS BÁSICOS	
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO</u>	
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	1
2.1 - Fundamentos básicos do sensoriamento remoto geológico	4
2.1.1 - A radiação eletromagnética (REM)	4
2.1.2 - Interação da REM com os alvos naturais	5
2.1.3 - Comportamento espectral de rochas no visível e no infravermelho próximo	6
2.1.4 - Significado físico dos dados gravados pelos sensores	9
2.2 - Trabalhos anteriores	12
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS</u>	16
3.1 - Material	16
3.1.1 - Os satélites LANDSAT-1, 2 e 3	16
3.1.1.1 - O imageador multiespectral MSS	16
3.1.1.2 - O sensor RBV	17
3.1.2 - Imagens de radar	18
3.1.3 - Fotografias aéreas	20
3.2 - Métodos: Análise e interpretação de dados multiespectrais em geologia	20
3.2.1 - Introdução	20
3.2.2 - Elementos de análise de dados de sensoriamento remoto	21
3.2.2.1 - Influência do comportamento espectral da litologia	24
3.2.2.2 - Influência da cobertura vegetal natural	24
3.2.2.3 - Influência das variações sazonais no comportamento da vegetação	27
3.2.2.4 - Influência das variações sazonais nas condições de iluminação	28

	<u>Pág.</u>
3.2.2.5 - Influência da atmosfera	30
3.2.2.6 - Influência da atividade antrópica	30
3.2.2.7 - Análise de dados de sensoriamento remoto nas condições Amazônicas	31
3.2.3 - Análise das imagens através do analisador multiespectral I-100	35
3.2.4 - Fluxograma das atividades na Província Estanífera de Goiás	40
3.2.5 - Fluxograma das atividades na Província Estanífera de Rondô nia	45

PARTE II - SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL APLICADO À PRO-
VÍNCIA ESTANÍFERA DE GOIÁS

<u>CAPÍTULO 4 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE GOIÁS</u>	49
4.1 - Aspectos fisiográficos: clima e vegetação	49
4.2 - Quadro geológico regional	50
4.3 - Corpos graníticos mineralizados	53
4.3.1 - Características gerais dos maciços	53
4.3.2 - Mineralizações	54
<u>CAPÍTULO 5 - MACIÇO DA SERRA DA PEDRA BRANCA: RESULTADOS E DISCUS SÕES</u>	57
5.1 - Localização e acesso	57
5.2 - Topografia e relações de contato	57
5.3 - Aspectos geológicos gerais do maciço	57
5.4 - Características superficiais: produtos de alteração e cober- tura vegetal	61
5.5 - Análise dos dados de sensoriamento remoto	64
5.5.1 - Análise das imagens do canal 5 do MSS	64
5.5.2 - Análise das imagens <i>RATIO</i>	71
5.5.3 - Imagens RBV, fotografias aéreas e imagens de radar	74
5.6 - Integração final com os dados de campo	77

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO 6 - MACIÇO DA SERRA DO MOCAMBO: RESULTADOS E DISCUSSÕES.</u>	81
6.1 - Localização e acesso	81
6.2 - Topografia e relações de contato	81
6.3 - Aspectos geológicos gerais do maciço	83
6.4 - Análise dos dados de sensoriamento remoto	83
6.4.1 - Análise das imagens do canal 5 do MSS	83
6.4.2 - Análise das imagens <i>RATIO</i>	87
6.4.3 - Fotografias aéreas e imagens de radar	89
6.5 - Integração final com os dados de campo	91
<u>CAPÍTULO 7 - MACIÇO DA SERRA DO MENDES: RESULTADOS E DISCUSSÕES.</u>	98
7.1 - Localização e acesso	98
7.2 - Topografia e relações de contato	98
7.3 - Aspectos geológicos gerais do maciço	100
7.4 - Análise das imagens de sensoriamento remoto	100
7.4.1 - Análise das imagens do canal 5 do MSS	100
7.4.2 - Análise das imagens <i>RATIO</i>	103
7.4.3 - Análise das composições coloridas	106
7.4.4 - Fotografias aéreas e imagens de radar	110
7.5 - Integração final com os dados de campo	112
<u>CAPÍTULO 8 - SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS EM OUTROS MACIÇOS DA</u> <u>PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE GOIÁS</u>	118
8.1 - Maciço da Serra da Soledade	118
8.2 - Maciço da Serra do Passa-e-Fica	121
8.3 - Maciço da Serra Branca	123

PARTE III - SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL APLICADO À
PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA

	<u>Pág.</u>
<u>CAPÍTULO 9 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA</u>	125
9.1 - Aspectos fisiográficos: clima e vegetação	125
9.2 - Quadro geológico regional	125
9.3 - Características gerais dos maciços graníticos de Rondônia.	128
9.3.1 - Mineralizações primárias e suas relações com os maciços..	129
<u>CAPÍTULO 10 - MACIÇO PEDRA BRANCA COMO CASO-EXEMPLO: RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	132
10.1 - Localização e acesso	132
10.2 - Topografia e vegetação	132
10.3 - Tipos litológicos observados na área do maciço Pedra Branca	133
10.4 - Análise das imagens LANDSAT	138
10.4.1 - Escolha dos canais e dos algoritmos de realce	138
10.4.2 - Análise da imagem do canal 7 e integração com os dados de campo	143
10.5 - Mapa geológico do maciço a partir da integração final dos dados	148
10.6 - Fotografias aéreas e imagens de radar	150
10.6.1 - Fotografias aéreas	150
10.6.2 - Imagens de radar	152
10.7 - Relevância do método como subsídio à pesquisa mineral nas condições da amazônia	135
PARTE IV - CONCLUSÕES	
<u>CAPÍTULO 11 - CONCLUSÕES GERAIS</u>	155
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Espectro eletromagnético e transmitância atmosférica	5
2.2 - Reflectâncias bidirecionais de algumas rochas ígneas	8
3.1 - Interação entre o sensoriamento remoto e a geologia	23
3.2 - Curvas de reflectâncias médias da vegetação verde, da vegetação seca e de solos na faixa dos sensores do MSS-LANDSAT ..	26
3.3 - Diferentes condições de iluminação de uma área, em função da topografia	29
3.4 - Sequência hipotética de formação de vales controlados por fraturas do substrato geológico, em áreas tropicais florescadas com profundo manto de intemperismo	33
3.5 - Configuração básica do analisador I-100	36
3.6 - Fluxograma de utilização do I-100	37
3.7 - Fluxograma das atividades desenvolvidas no estudo de corpos graníticos da Província Estanífera de Goiás	41
3.8 - Fluxograma das atividades desenvolvidas no estudo do maciço Pedra Branca, em Rondônia	46
4.1 - Esboço geológico da Província Estanífera de Goiás	52
5.1 - Mapa geológico do maciço da Serra da Pedra Branca	60
5.2 - Vista parcial da Bacia	63
5.3 - Detalhe da cobertura vegetal nas áreas de mais intensa alteração metassomática	63
5.4 - Maciço da Serra da Pedra Branca, visto através da banda 5 do LANDSAT, na estação seca	65
5.5 - Mapa temático do maciço da Serra da Pedra Branca, a partir da imagem do canal 5 obtida na estação seca	66
5.6 - Maciço da Serra da Pedra Branca, visto através da banda 5 do LANDSAT, na estação de chuvas	69
5.7 - Mapa temático do maciço da Serra da Pedra Branca, a partir da imagem do canal 5 obtido na estação de chuvas	70
5.8 - Conceituação do <i>Ratio</i> entre canais não correlacionáveis ...	72
5.9 - Mapa temático do maciço da Serra da Pedra Branca, a partir da imagem <i>Ratio</i> ($R_{7/5}$) na estação de chuvas	73
5.10 - Imagem RBV do maciço da Serra da Pedra Branca	75
5.11 - Fotografia aérea do maciço da Serra da Pedra Branca	76
5.12 - Imagem de RADAR do maciço da Serra da Pedra Branca	76
.....	

	<u>Pág.</u>
5.13 - Indicação das áreas de rochas albitizadas/greisenizadas no maciço da Serra da Pedra Branca, a partir de imagens multiespectrais do LANDSAT	78
6.1 - Mapa topográfico do maciço da Serra do Mocambo	82
6.2 - Mapa temático do maciço da Serra do Mocambo, a partir da imagem do canal 5 obtido na estação seca	85
6.3 - Mapa temático do maciço da Serra do Mocambo, a partir da imagem do canal 5 obtido na estação de chuvas	86
6.4 - Mapa temático do maciço da Serra do Mocambo, a partir da imagem <i>Ratio</i> ($R_{7/5}$) na estação de chuvas	88
6.5 - Fotografia aérea do maciço da Serra do Mocambo	90
6.6 - Imagem de RADAR do maciço da Serra do Mocambo	90
6.7 - Indicação das áreas de rochas greisenizadas no maciço da Serra do Mocambo, a partir de imagens LANDSAT	93
6.8 - Cobertura vegetal tipo "campo sujo" associada às áreas de granitos greisenizados no maciço da Serra do Mocambo	94
6.9 - Predominância da "canela-de-ema" na área Anômala número 1 e ao fundo o cerrado típico associado aos biotita-granitos ..	94
7.1 - Mapa topográfico da Serra do Mendes	99
7.2 - Mapa temático das coberturas lateríticas no maciço da Serra do Mendes, a partir da imagem do canal 5 da estação seca ..	102
7.3 - Mapa temático do maciço da Serra do Mendes, a partir da imagem <i>Ratio</i> ($R_{7/5}$) na estação de chuvas	104
7.4 - Vista geral das áreas de coberturas lateríticas no maciço da Serra do Mendes	105
7.5 - Vista geral da área de ocorrência de moscovita-granitos greisenizados com solos claros e cobertura vegetal pouco desenvolvida e ao fundo, a vegetação de maior porte sobre os biotita-granitos	105
7.6 - Mapa temático do maciço da Serra do Mendes, a partir de composição colorida dos canais 5 e 7 na estação seca	108
7.7 - Definição das classes: moscovita-granito (MG), biotita-granitos (BG) e coberturas lateríticas (CL), a partir da composição colorida dos canais 5 e 7	109
7.8 - Fotografia aérea do maciço da Serra do Mendes	110
7.9 - Imagem de RADAR do maciço da Serra do Mendes	111
7.10 - Indicação das áreas de rochas albitizadas/greisenizadas no maciço da Serra do Mendes, a partir de imagens LANDSAT ...	113
7.11 - Contato por falha ao longo do córrego Riacho Fundo entre moscovita-granitos greisenizados em primeiro plano e biotita-granitos ao fundo	114

	<u>Pág.</u>
8.1 - Mapa topográfico do maciço da Serra da Soledade	119
8.2 - Indicações das áreas de ocorrências de granófiros no maciço da Serra da Soledade, a partir de imagens LANDSAT	120
8.3 - Mapa topográfico do maciço da Serra do Passa-e-Fica	122
8.4 - Indicação das áreas ocupadas com rochas greisenizadas no maciço da Serra do Passa-e-Fica, a partir de imagens do LANDSAT	123
8.5 - Composição colorida do maciço da Serra Branca, a partir de imagens LANDSAT	124
9.1 - Esboço geológico da área da Província Estanífera de Rondônia	127
10.1 - Cobertura vegetal na área do maciço Pedra Branca em Rondônia	133
10.2 - Mapa de afloramentos da área do maciço Pedra Branca	134
10.3 - Tipos predominantes no maciço Pedra Branca: Granito Hetero granular (a), Granito Equigranular (b) e Granito Porfirítico Fino (c)	136
10.4 - Comportamento espectral da vegetação em função da quantidade de folhas atingidas pela REM	140
10.5 - Histogramas dos canais 5 e 7 MSS que cobrem a área de estudo, antes e depois da aplicação do <i>Linear Contrast Stretch</i>	141
10.6 - Imagem da banda 7 do MSS cobrindo a área do maciço Pedra Branca, realçada com <i>Linear Contrast Stretch</i>	142
10.7 - Mapa fotogeológico do maciço Pedra Branca a partir de imagem LANDSAT	147
10.8 - Fotografia aérea cobrindo parcialmente o maciço Pedra Branca	149
10.9 - Imagem de RADAR cobrindo a área do maciço Pedra Branca ...	151
10.10 - Mapa geológico do maciço Pedra Branca a partir da integração de dados de campo e de imagem LANDSAT	152

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
4.1 - Características gerais das mineralizações na Província Estanífera de Goiás	56
5.1 - Algumas características químicas dos solos desenvolvidos em áreas de ocorrências de biotita-granitos e de moscovita-granitos albitizados/greisenizados	62
6.1 - Análise química (ppm) para elementos traços de tipos greisenizados da Serra do Mocambo	96
7.1 - Valores anômalos de Sn e W associados às áreas de moscovita granitos greisenizados	115
9.1 - Tipos morfogenéticos dos depósitos de Sn associados aos corpos graníticos de Rondônia	130
10.1 - Composição modal média (% de volume) visualmente estimada para as três principais fácies de rochas graníticas do maciço Pedra Branca	138

PARTE 1 - FUNDAMENTOS BÁSICOS

- . Introdução
- . Revisão Bibliográfica
- . Material e Métodos

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Dadas às suas dimensões continentais e ao pouco conhecimento geológico do seu território, o Brasil é um dos países que mais se pode beneficiar com o emprego do sensoriamento remoto no auxílio à pesquisa de seus recursos minerais. Neste sentido tem sido investida, pelos órgãos federais competentes, grande soma de recursos para a aquisição desses dados. O País é hoje totalmente coberto com imagens de RADAR do Projeto RADAMBRASIL, do ministério das Minas e Energia, e com imagens multiespectrais dos satélites da série LANDSAT, que cobrem o território brasileiro a cada 18 dias, desde janeiro de 1973. Essas imagens são captadas pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), órgão do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). São disponíveis ainda no INPE fotografias e imagens obtidas nas três missões do SKYLAB desenvolvidas entre 1973 e 1974, além de imagens também obtidas pelos satélites TIROS-N e NOAA-6, ainda não avaliadas do ponto de vista geológico. Cabe mencionar ainda as fotografias aéreas que cobrem quase todo o território brasileiro, às vezes em diferentes escalas. A década de 80 marcou o surgimento da segunda geração de satélites de pesquisas de recursos naturais, inaugurando uma nova fase do sensoriamento remoto orbital, através de sistemas com melhores resoluções espaciais, espectrais e radiométricas. Iniciou esta nova etapa o satélite LANDSAT-4, o qual será o primeiro a possuir canais específicos para discriminação litológica. O satélite francês SPOT, a ser lançado em 1985, obterá imagens em estereoscopia e com resolução espacial até 10 metros.

No Brasil as imagens de satélite têm sido em geral empregadas apenas em grandes levantamentos geológicos regionais, utilizadas como se fossem fotografias aéreas convencionais. O desenvolvimento de metodologias de análise dessas imagens, explorando-se suas características espectrais, pode transformá-las em ferramenta de efetiva utilização em campanhas de prospecção mineral. Elas podem auxiliar no

selecionamento prévio de áreas alvos onde os trabalhos de campo devem se concentrar, resultando, daí, razoáveis economias de tempo e de recursos.

A análise objetiva e a avaliação crítica da potencialidade de dessas imagens em aplicações geológicas, específicas às condições brasileiras, só poderão ser atingidas, no entanto, através do esforço conjunto de Universidades, Institutos de Pesquisas e Empresas de Mineração. Para atingir seus objetivos o presente trabalho evoluiu dentro desse contexto, envolvendo a colaboração daqueles três organismos. Ele tem como objetivo geral o desenvolvimento de uma linha metodológica de utilização de imagens de sensoriamento remoto orbital, na forma de fitas digitais compatíveis com computador, como ferramenta de auxílio à prospecção mineral. Dentro da vasta amplitude do tema, escolheram-se como áreas de estudo corpos graníticos especializados em metais raros pertencentes às Províncias Estaníferas de Goiás e de Rondônia. Esta escolha deve-se à ampla distribuição desses maciços graníticos, não só naquelas duas regiões, mas também em várias outras áreas do Brasil, a grande maioria deles ainda não pesquisados.

Como objetivos específicos o trabalho visa, na Província Estanífera de Goiás, a discriminação espectral de áreas de greisenização (*lato sensu*), as quais constituem os controles litológicos das mineralizações de Sn, W, Ta, Nb, Li, F, etc. no interior dos maciços graníticos daquela Província, tendo como parâmetros básicos de análise: (a) os comportamentos espectrais daqueles tipos litológicos e de suas associações de rocha-solo-vegetação, nas faixas correspondentes aos canais do MSS-LANDSAT; (b) o papel desempenhado pelas variáveis ambientais envolvidas no processo de coleta dos dados pelos sistemas sensores; e (c) a escolha dos métodos de realce e extração dessas informações, através do Analisador Multiespectral I-100. Na Província Estanífera de Rondônia, dadas às condições próprias da Região Amazônica (floresta tropical, profundo manto de intemperismo e coberturas sedimentares cenozóicas), o trabalho não objetiva a discriminação espectral direta de litotipos específicos. O tratamento das imagens através de com

putador visa o realce de feições morfológicas e texturais de maciços geoquimicamente especializados em metais raros e o correlacionamento dessas feições com dados de campo. O possível estabelecimento de relações espaciais entre falhamentos, fácies petrográficas e mineralizações, com a estruturação interna desses maciços como mostrada pelas imagens, pode levar a modelos táticos de prospecção para as condições de Rondônia e da Amazônia de um modo geral.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - FUNDAMENTOS BÁSICOS DO SENSORIAMENTO REMOTO GEOLÓGICO

2.1.1 - A RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA (REM)

De modo abrangente, o Sensoriamento Remoto pode ser definido como um conjunto de técnicas e equipamentos que permitem obter informações a respeito de determinado alvo, sem a necessidade de um contato físico com ele. Englobados por este amplo conceito, os métodos geofísicos que medem campos de forças (elétricos, magnéticos, gravimétricos) e a sísmica são também sistemas sensores. No entanto, mais por razões históricas, o Sensoriamento Remoto é restrito aos métodos que empregam a *Radiação Eletromagnética* (REM), como meio para detectar e medir algumas características físicas dos alvos naturais.

A REM, enfocada do ponto de vista da teoria ondulatória, é energia na forma de luz, calor, ondas de rádio, etc., que se propaga à velocidade da luz, podendo ser expressa pela seguinte equação:

$$v = f \cdot \lambda , \quad (2.1)$$

onde v é a velocidade da luz, λ o comprimento de onda da radiação e f sua frequência.

Desde que a velocidade da luz no vácuo é uma constante, as únicas características variáveis nas diferentes formas de energia eletromagnética são o comprimento de onda e a frequência da radiação. O arranjo desta radiação de acordo com o comprimento de onda e frequência define o *Espectro Eletromagnético* (Figura 2.1). Este é dividido em várias regiões espectrais que obedecem mais ou menos a maneira como a REM é gerada, isolada ou detectada. As regiões do espectro eletromagnético que mais interessam ao Sensoriamento Remoto são o ultravioleta, o visível, o infravermelho (próximo, médio e distante) e as microondas.

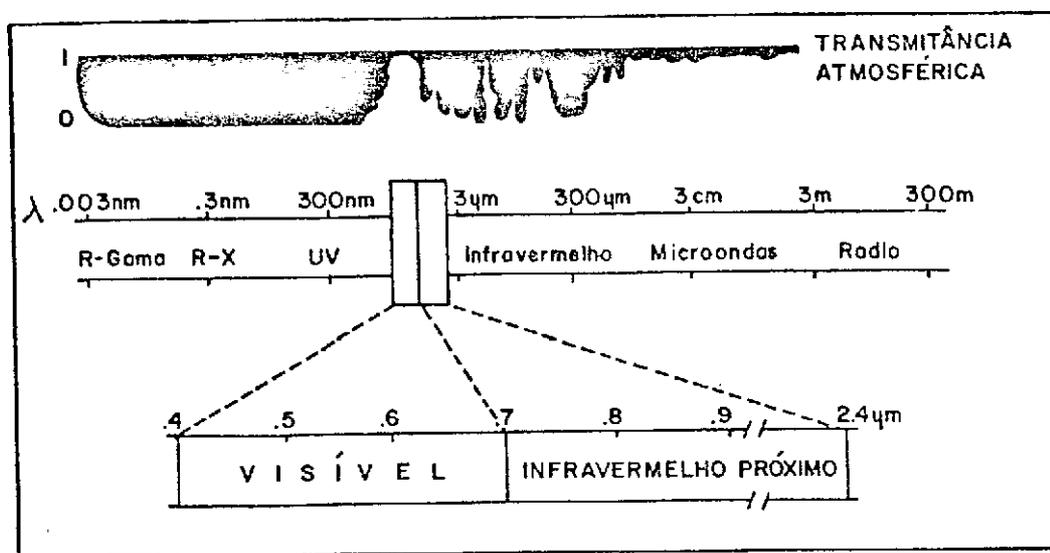


Fig. 2.1 - Espectro eletromagnético e transmitância atmosférica.

2.1.2 - INTERAÇÃO DA REM COM OS ALVOS NATURAIS

Quando a REM incide sobre os diferentes materiais, ela é sujeita a vários fenômenos de interação que produzem trocas nessa radiação incidente, modificando sua intensidade, comprimento de onda, polarização, etc. De uma maneira mais simples, ao incidir sobre determinado corpo, a REM pode ser refletida, absorvida ou transmitida. Neste processo ficam estabelecidos os três parâmetros básicos resultantes dos mecanismos de interação, a saber:

- *Reflectância* (ρ) - razão entre a REM refletida por determinado corpo e a incidente sobre ele.
- *Absortância* (α) - razão entre a REM absorvida por determinado corpo e a incidente sobre ele.
- *Transmitância* (τ) - razão entre a REM transmitida através de determinado corpo e a incidente sobre ele.

Pela lei da conservação da energia

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad \text{ou} \quad \rho = 1 - (\alpha + \tau) . \quad (2.2)$$

A intensidade relativa com que cada corpo reflete, absorve ou transmite a radiação incidente, nos diversos comprimentos de onda, é função de suas propriedades físicas e químicas e define sua *Assinatura Espectral*, ou de uma maneira mais simples, seu *Comportamento Espectral*. Este é representado por curvas que exprimem a porcentagem de radiação refletida pelo corpo nos comprimentos de onda considerados.

O sensoriamento remoto procura detectar e gravar essas trocas energéticas entre a REM e as diferentes feições da superfície terrestre, registrando-as principalmente em forma de fotografias aéreas ou imagens. Estas, assim, contêm informações sobre algumas propriedades físicas e químicas do material que induziu as modificações na REM incidente.

Há uma vasta bibliografia sobre os vários aspectos do sensoriamento remoto acima sumariados, podendo-se citar dentre aqueles autores que os abordam de maneira mais ampla, os trabalhos de Colwell et alii (1963), Reeves et alii (1975), Lintz Jr. e Simonett (1976), Swain e Davis (1978), Sabins Jr. (1978), Hunt (1980).

2.1.3 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ROCHAS NO VISÍVEL E NO INFRAVERMELHO PRÓXIMO

Do exposto anteriormente fica claro que os diferentes tipos de rochas só podem ser discriminados através de sensoriamento remoto se possuírem comportamentos espectrais próprios que permitam caracterizá-los. Antes de analisar o comportamento espectral das rochas ígneas, ver-se-á inicialmente como se comportam os seus principais constituintes minerais, no intervalo correspondente aos canais do MSS-LANDSAT.

Vários pesquisadores como Hovis (1966) White e Keester (1966), Ross et alii (1969), Hunt (1977), Hunt e Salisbury (1970, 1976), Hunt et alii (1974) têm estudado o comportamento espectral de minerais. A característica mais marcante no comportamento dos principais constituintes minerais das rochas ígneas é o fato de eles refletirem a REM de maneira relativamente uniforme. Suas curvas são "lisas", não havendo picos de absorção ou de reflectância que possam levar a um diagnóstico de composições mineralógicas. Elas seguem basicamente os índices de cor, de tal modo que permitem tão somente a diferenciação entre minerais máficos e félsicos.

As curvas de reflectâncias do quartzo, albita, feldspato potássico e moscovita, por exemplo, são muito semelhantes entre si, do mesmo modo que o são entre si aquelas da biotita, labradorita, olivinas, piroxênios e anfibólios, distinguindo-se um conjunto do outro apenas quanto à intensidade de suas reflectâncias. A baixa reflectância dos minerais máficos é decorrente de absorção óptica causada por transições eletrônicas dos íons ferrosos e férricos nas faixas do visível e do infravermelho próximo, acentuando-se nesta última.

O comportamento espectral das rochas segue basicamente o mesmo padrão observado para os minerais acima considerados. As curvas são também "lisas" e não indicam feições diagnósticas que possam levar à identificação, como mostram Salisbury e Hunt (1974) e Blom et alii (1980).

A Figura 2.2 mostra curvas de comportamento espectral características de algumas rochas ígneas, no intervalo do visível ao infravermelho próximo. Os granitos gráficas e os pegmatitos, formados nos estágios finais da diferenciação magmática, possuem alta reflectância, função da quantidade de seus minerais félsicos. Para os granitos normais a reflectância é menor devido ao maior enriquecimento destes em biotita. A diminuição da intensidade relativa de resposta acentua-se na medida que se avança para o campo das rochas intermediárias, básicas e ultrabásicas. Assim, o diorito, plutônica de composição intermediária

ria, possui menor reflectância que o granito, função de sua maior quantidade de minerais máficos (anfíbólios e piroxênios) e menor quantidade de quartzo. O espectro típico para as rochas básicas, particularmente aquelas de granulação grosseira, é representado pela curva do diabásio, caracterizada por forte absorção da radiação, devido aos íons ferrosos da hornblenda e da olivina. Na escala decrescente de respostas, as rochas ultrabásicas (e ultramáficas) são as que possuem menores reflectâncias devido à presença dos piroxênios e das olivinas, como exemplificado nas curvas dos piroxenitos e dos dunitos, respectivamente.

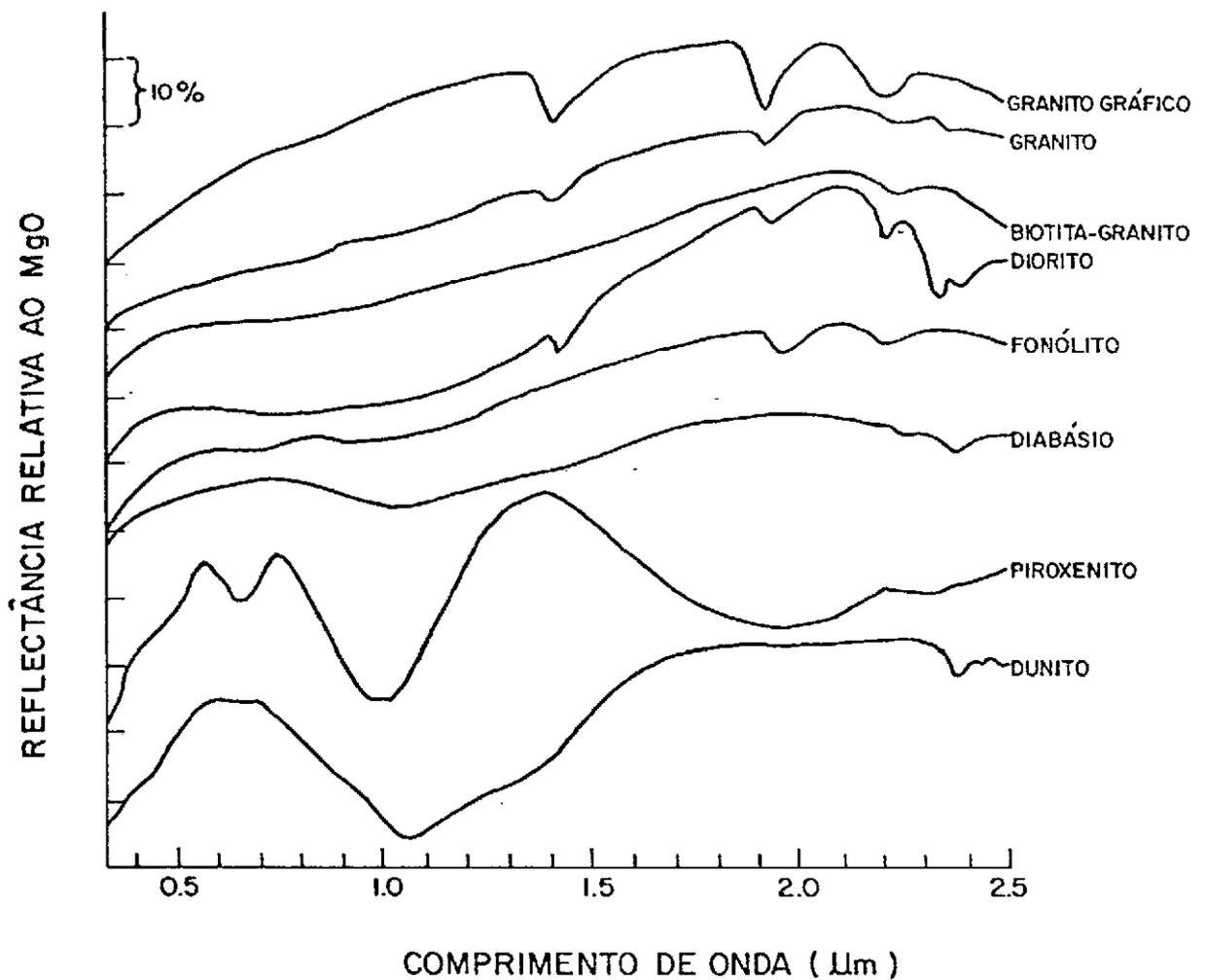


Fig. 2.2 - Reflectâncias bidirecionais de algumas rochas ígneas.

FONTE: Salisbury and Hunt (1974).

Como rochas frescas raramente afloram, especialmente em condições de Paí̄s tropical com generalizado intemperismo, a utilização dessas curvas, como elemento de discriminação litológica, s̄o faz sentido caso se compreenda como os processos de alteração podem modificá-las. Para isto deve-se considerar, inicialmente, o grau de alteração a que as rochas foram submetidas.

No caso das alterações onde o processo de decomposição intempérica é incompleto, não destruindo totalmente os minerais primários, os trabalhos de Watson (1972), Hunt (1979), Hunt e Ashley (1979) e Rowan e Lathran (1980), mostram que rochas sob esse grau de alteração comportam-se espectralmente de modo semelhante ao da rocha fresca, apenas com ligeiro acréscimo nos valores de reflectância.

Nas alterações onde ocorre a destruição total dos constituintes minerais primários, a resposta espectral do material resultante é substancialmente modificada. Os fatores que regem a formação dos solos são amplos e complexos, sofrendo influências básicas do clima e, evidentemente, da litologia. Os solos são, assim, uma mistura complexa com características físicas e químicas próprias e, conseqüentemente, com comportamentos espectrais próprios. Estes dependem da textura do solo (porcentagem de argila, silte e areia), da quantidade de matéria orgânica, da presença de óxidos de ferro e também da umidade (Hoffer, 1978).

A despeito de todas essas variáveis, dentro de determinado ambiente geográfico, rochas distintas submetidas às mesmas condições ambientais produzem solos distintos, os quais possuem comportamentos espectrais próprios e, conseqüentemente, são passíveis de discriminação, como mostram Condit (1970), Kristof e Zachary (1974) e Costa (1979).

2.1.4 - SIGNIFICADO FÍSICO DOS DADOS GRAVADOS PELOS SENSORES

Como já mencionado, o sensoriamento remoto visa detectar e gravar as trocas energéticas que ocorrem durante a interação da REM com determinado alvo. A grandeza radiométrica medida pelos sistemas

sensores é a *Radiância* (N), definida como o fluxo radiante (ϕ), por unidade de área projetada na direção da fonte, ($A \cos\theta$), por unidade de ângulo sólido ($\Delta\omega$):

$$N = \Delta\phi / A \cdot \cos\theta \cdot \Delta\omega \quad (\text{Watt/m}^2 \cdot \text{str}) \quad (2.3)$$

Do discutido anteriormente pode-se concluir que a discriminação espectral de determinado alvo por sensoriamento remoto, impõe que exista correlação entre a radiância medida e a reflectância do alvo, uma vez que a reflectância é característica intrínseca do alvo e o define.

A reflectância pode ser também expressa pela seguinte equação:

$$\rho_\lambda = M_\lambda / E_\lambda \quad , \quad (2.4)$$

onde E_λ (*Irradiância*) e M_λ (*Exitância*) representam, respectivamente, a densidade superficial de fluxo radiante (luz) incidente sobre determinada superfície e a densidade superficial de fluxo radiante refletido por ela em determinado intervalo de comprimento de onda.

Como quase todos os alvos naturais comportam-se como superfícies *lambertianas*, isto é, refletem a REM incidente igualmente bem em todas as direções, é demonstrável que a *Radiância* pode também ser expressa pela seguinte equação:

$$N_\lambda = M_\lambda / \pi \quad (2.5)$$

substituindo-se o valor de M_λ na Equação 2.4 tem-se

$$N_\lambda = (\rho_\lambda \cdot E_\lambda) / \pi \quad , \quad (2.6)$$

ou seja, a *Radiância* medida pelo sensor é diretamente proporcional à *Reflectância* do alvo e à intensidade de iluminação.

Papel preponderante em influenciar as características do sinal gravado pelo sistema sensor é desempenhado por algumas variáveis ambientais envolvidas na coleta do dado. Dentre estas merecem destaque as relações geométricas estabelecidas entre os ângulos solares de elevação e azimute e a topografia, que criam diferentes condições de iluminação do alvo. Outra variável importante é a atmosfera interposta entre o sistema sensor e o alvo, que atenua o sinal refletido por este e também introduz uma componente estranha a ele. Desse modo a Equação 2.6 necessita ser reescrita para expressar mais fielmente o papel desempenhado por essas variáveis ambientais, no modelamento do sinal gravado pelo sensor:

$$N_{\lambda} = \frac{\tau_{\lambda}}{\pi} \left[\left(\rho_{\lambda} \cdot \cos\theta \cdot E_{\lambda}(\text{DIR}) \right) + \left(\rho_{\lambda} \cdot E_{\lambda}(\text{DIF}) \right) \right] + N_{\lambda}(\text{ATM}), \quad (2.7)$$

onde:

N_{λ} = Radiância espectral medida pelo sensor.

τ_{λ} = Transmitância espectral da atmosfera.

ρ_{λ} = Reflectância espectral do alvo.

$E_{\lambda}(\text{DIR})$ = Irradiância espectral direta do sol.

$E_{\lambda}(\text{DIF})$ = Irradiância espectral difusa nas zonas de "sombras".

$N_{\lambda}(\text{ATM})$ = Espalhamento atmosférico

θ = Ângulo entre o raio do sol e a normal à superfície.

λ = Intervalo de comprimento de onda considerado.

Pela Equação 2.7 observa-se que no dado medido pelo sistema sensor são incorporados um termo multiplicativo e outro aditivo impostos pela atmosfera. Nota-se também que, em função da topografia, um mesmo alvo pode estar submetido a diferentes condições de iluminação, dificultando, assim, sua caracterização espectral. Desse modo torna-se imprescindível o emprego de técnicas que eliminem ou minimizem a influência dessas variáveis ambientais, as quais serão discutidas no próximo capítulo.

2.2 - TRABALHOS ANTERIORES

Com o advento da Era Espacial no início dos anos 60, começou a utilização de fotografias orbitais em estudos geológicos, especialmente a partir das missões *TIROS* e *MERCURY*. As primeiras análises dessas fotos, do ponto de vista de sua aplicabilidade ao reconhecimento de grandes feições geológicas e geomorfológicas, foram feitas por Morrison e Chown (1965).

O potencial de informações demonstrado por estas primeiras fotos orbitais fez com que fosse criado no âmbito da missão espacial seguinte, a *GEMINI* (desenvolvida entre 1965 e 1966), o projeto *Synoptic Terrain Photography Experiment*. Este projeto teve como objetivo obter fotografias em branco e preto e coloridas de alvos geológicos previamente selecionados. Resultaram dele cerca de 1100 fotografias, analisadas por vários pesquisadores como Lowman Jr. (1967, 1969), Hemphill e Danilchik (1968) e Mohr (1969).

As primeiras fotos multiespectrais a partir do espaço foram obtidas pela missão *APOLLO* no fim da década de 60, já servindo como teste para escolha das bandas que deveriam ser utilizadas no primeiro satélite de sensoriamento remoto de recursos naturais a ser lançado, o *ERTS-1*, posteriormente denominado *LANDSAT*.

A partir do lançamento dos satélites da série *LANDSAT* e da obtenção de imagens digitais em diferentes bandas do espectro ele

tromagnético intensificou-se o emprego dos dados de sensoriamento remoto no levantamento de recursos naturais e, de modo especial, na pesquisa geológica:

Lyon (1975a) através de imagens *Ratio* reconhece e amplia a anomalia geobotânica associada a mineralizações de molibdênio em escarnitos e vulcânicas básicas, na região de Corson City, Estado de Nevada.

Paradella e Almeida Filho (1976) propõem um novo condicionamento estrutural para as mineralizações radioativas no Planalto de Poços de Caldas (MG), com base em análises de imagens LANDSAT, realizadas por computador.

Almeida Filho et alii (1976) identificam áreas favoráveis à ocorrência de argilas refratárias, na região de Uberaba (MG), através de classificações automáticas supervisionadas em imagens LANDSAT.

Rowan et alii (1976), Rowan et alii (1977), Abrams et alii (1977) e Collins (1978), utilizando diferentes técnicas de realce de imagens digitais LANDSAT por computador, discriminam novas áreas de alteração hidrotermal mineralizadas, no distrito mineiro de Goldfield, Estado de Nevada.

Bolviken et alii (1977) discriminam, através de imagens digitais do LANDSAT, anomalias geobotânicas associadas à presença de sulfetos de Cu e Pb no solo, na região de Korasjok, Noruega.

Blodget et alii (1978) individualizam, baseados em variações tonais em imagens LANDSAT realçadas por computador, vários tipos litológicos maiores na região de Asir (Arábia Saudita), diferenciando dentre eles, granitos a biotita de granitos a moscovita.

Raines et alii (1978) reconhecem fácies na formação Wasatch (Powder River Basin, Estado de Wyoming), hospedeiras de mineralizações

de urânio, com base em variações de densidade de cobertura vegetal, a partir de imagens LANDSAT realizadas pela técnica do *Ratio*.

Taranik et alii (1978), baseados na constatação de que platôs lateríticos niquelíferos inibem localmente o desenvolvimento da cobertura vegetal natural nas ilhas de Gage e Kawe (Indonésia), classificam a partir de imagens LANDSAT em computador novas áreas lateríticas espectralmente semelhantes às aquelas previamente conhecidas.

Guerra (1978) reconhece, através de imagens LANDSAT realizadas por computador, estruturas circulares associadas a variações fisiológicas, nos maciços graníticos de Massangana/São Domingos, em Rondônia.

Paradella et alii (1979), através de técnicas de classificação automática supervisionada, identificam corpos de rochas básicas mineralizadas a ilmenita, na região de Floresta, PE.

Lefèvre (1980) estabelece correlação entre associações geobotânicas diferenciadas a partir de imagens LANDSAT e anomalias geoquímicas de Li, W, As e Sn, na região de Allier, no Maciço Central Francês.

Prost (1980) através de medidas espectralradiométricas individualiza e amplia as áreas de alteração hidrotermal nos distritos de Gold Acres e Tonabo, Estado de Nevada.

Kowalick (1981), através de técnicas de correção de efeitos atmosféricos e de condições de iluminação, refina a classificação automática de áreas de alteração hidrotermal no distrito de Yerington, Estado de Nevada.

Birnie e Francica (1981) discriminam, através de sensores aerotransportados, anomalias geobotânicas associadas a depósitos de cobre porfirítico em Mesatchee Creek, Estado de Washington.

Almeida Filho (1982a) individualiza zonas de moscovita granitos albitizados e greisenizados, no maciço granítico da Serra da Pedra Branca (GO), através de imagens multiespectrais realçadas por computador.

Raines e Wynn (1982) discriminam e subdividem rochas ultramáficas do complexo peridotítico de Josephine (Crescent City, California), com base em variações na cobertura vegetal, realçadas através de imagens digitais LANDSAT.

Rowan e Kahle (1982) discriminam diferentes tipos de rochas hidrotermalmente alteradas no Distrito Mineiro de Tintic (Estado de Utah), com base em seus comportamentos espectrais nas bandas correspondentes àquelas do sensor TM do LANDSAT-4.

O periódico *Economic Geology* dedicou sua edição de junho-julho de 1983 (volume 78 nº 4) à avaliação das técnicas e resultados do sensoriamento remoto aplicado à prospecção mineral. Os trabalhos ali apresentados demonstram a aplicabilidade do método na discriminação espectral de tipos litológicos e de anomalias geobotânicas associados à ocorrência de bens minerais, assim como suas perspectivas futuras em face dos novos satélites.

CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - MATERIAL

3.1.1 - OS SATÉLITES LANDSAT-1, 2 e 3

Os satélites LANDSAT-1, 2 e 3 (NASA, 1976) foram lançados em órbita inclinada 99° em relação ao Equador e a uma altitude média de 915 km. A órbita é síncrona com o sol de modo a permitir as mesmas condições de iluminação durante o movimento de translação da Terra.

A cada 103 minutos o satélite completa uma órbita em torno da Terra, cruzando o Equador aproximadamente às 9:30 horas (hora local). Assim, em 24 horas são completadas 14 órbitas, espaçadas entre si de 2.760 km, em função do movimento de rotação da Terra. A 15ª órbita, no dia seguinte, é contígua à primeira órbita do dia anterior, com cobertura lateral de 14% no Equador, aumentando gradativamente com a latitude. Deste modo uma cobertura total da Terra é completada a cada 18 dias, feita por dois sensores: o Imageador Multiespectral (MSS) e o sistema de televisão RBV (LANDSAT-3), cujas imagens são coletadas através de um amplo sistema de estações espalhadas em todos os continentes.

3.1.1.1 - O IMAGEADOR MULTIESPECTRAL MSS

O imageador multiespectral MSS é um sensor eletro-óptico mecânico que através de um espelho oscilante coleta a radiação refletida pela superfície da Terra. Essa radiação, antes de atingir os detectores, é decomposta nos intervalos de comprimentos de onda que constituem os canais do MSS, a saber:

canal 4 - 0,5 a 0,6 μm - verde,

canal 5 - 0,6 a 0,7 μm - vermelho,

canal 6 - 0,7 a 0,8 μm - infravermelho,

canal 7 - 0,8 a 1,1 μm - infravermelho.

O canal 8 do LANDSAT-3, no infravermelho termal, apresentou constantes defeitos técnicos, sendo por isto desligado.

Cada oscilação completa do espelho varre no terreno uma faixa de 185 km de comprimento, perpendicular à trajetória do satélite, composta de 3300 elementos de resolução definidos pelo campo de vista instantâneo do sistema. Como este focaliza uma área unitária de 79m x 79m, e a cada intervalo de amostragem o espelho varre no terreno apenas 56 metros, cada nova área de amostragem contém 23 metros da anterior. Para efeitos práticos, portanto, o elemento de resolução no terreno (*Pixel*) possui as dimensões de 56m x 79m. Cada imagem do sensor MSS, cobrindo uma área de 185 km x 185 km, é composta, portanto, de 3300 x 2300 *pixels*, cujos tons de cinza representam o somatório das radiâncias de todas as feições superficiais contidas neles. Os tons de cinza são quantificados numericamente em 64 níveis, cujos extremos 0 (zero) e 63 representam, respectivamente, o preto e o branco.

3.1.1.2 - O SENSOR RBV

Além do sensor MSS, os satélites LANDSAT-1, 2 e 3 foram equipados com um outro tipo de sensor: o sistema RBV (*Return Beam Vidicon*). Ele funciona à semelhança de uma televisão convencional. Suas imagens no entanto, não são disponíveis na forma de fitas magnéticas compatíveis com computador. Nos dois primeiros satélites da série essas imagens eram multiespectrais, tendo sido modificadas no LANDSAT-3 para abrangerem a faixa de sensibilidade compreendida entre 0,505 a 0,750 μm , possuindo, neste caso, resolução espacial de 40 metros.

3.1.2 - IMAGENS DE RADAR

O RADAR é um sensor ativo e como tal possui sua própria fonte de iluminação, podendo, assim, obter imagens a qualquer hora do dia ou da noite, sendo também pouco afetado pelas condições atmosféricas. Ele opera na faixa de frequência das microondas, subdividida em várias bandas, sendo uma delas a Banda-X, com comprimento de onda da ordem de 3,2 cm, na qual foram obtidas as imagens do Projeto RADAMBRASIL. O RADAR emite pulsos de microondas a partir de uma antena colocada sob o avião. O feixe de radiação enviado perpendicularmente à direção de vôo atinge o terreno segundo ângulos de incidências diferentes. Após chocar-se com o terreno, o sinal é espalhado e parte dele é coletado de volta pela antena. Medindo os tempos de retorno dos sinais enviados de volta pelo terreno, suas intensidades, fases e polarizações, obtêm-se informações sobre as distâncias e sobre algumas características físicas do terreno. Uma imagem é então obtida ordenando-se os sinais pelos tempos de chegada e colocando-os lado a lado após cada pulso. A resolução espacial das imagens de RADAR depende da largura do feixe enviado e da capacidade do sistema em registrar os tempos de chegada dos sinais enviados. No caso das imagens do Projeto RADAMBRASIL a resolução final do produto gira em torno dos 20 metros.

A potência recebida pela antena do RADAR é dada pela *Equação do Radar*:

$$Pr = \left[\frac{Pt \cdot G^2 \cdot \lambda^2}{(4\pi)^3 \cdot R^4} \right] \cdot \tau, \quad (3.1)$$

onde:

Pr = Potência recebida pela antena.

Pt = Potência transmitida pela antena.

G = Ganho da antena.

λ = Comprimento de onda do sistema.

τ = Coeficiente de espalhamento do sinal pela superfície.

R = Distância da antena ao alvo.

Com exceção de R, que varia dentro de estreitos limites, todos os demais termos da primeira parte da Equação 3.1 são conhecidos previamente, podendo-se, assim, reescrevê-la:

$$P_r = K \cdot \tau , \quad (3.2)$$

Como em todos os demais sistemas sensores, o sinal do RADAR é dependente das características da fonte (K) e das propriedades do alvo (τ). Dentre as primeiras, as mais importantes são: frequência, polarização, ângulos de incidências e resoluções. Quanto às propriedades do terreno, o coeficiente de espalhamento depende do micro-relevo (rugosidade da superfície), das feições topográficas maiores e das características dielétricas do terreno. A experiência prática tem mostrado que as características dielétricas dos solos dificilmente causam trocas no sinal de RADAR que sejam perceptíveis em forma de imagens, salvo em situações muito especiais. Desse modo, os fatores naturais que governam τ são a rugosidade da superfície e a topografia do terreno. A cobertura vegetal do terreno funciona também como uma superfície rugosa nessa faixa de frequência, espalhando o sinal. Pode-se concluir, assim, que as variações tonais observadas nas imagens de RADAR não estão diretamente relacionadas às propriedades físicas e químicas das diferentes associações de rocha-solo-vegetação, como no caso das imagens LANDSAT. Os tons naquele produto estão associados, antes de tudo, aos efeitos do choque mecânico entre a frente de ondas e a rugosidade do terreno, ou o topo da cobertura vegetal.

As imagens de RADAR analisadas neste trabalho foram obtidas a partir de ampliações de mosaicos na escala original de 1:250.000 do Projeto RADAMBRASIL.

3.1.3 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

Em Goiás utilizaram-se fotografias aéreas verticais obtidas pela USAF em 1965, na escala de 1:60.000. Em Rondônia as fotografias aéreas utilizadas foram obtidas pela LASA S.A. entre 1963 e 1965, na escala de 1:25.000.

3.2 - MÉTODOS: ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DE DADOS MULTIESPECTRAIS EM GEOLOGIA

3.2.1 - INTRODUÇÃO

Antes de discutir os elementos de análise e interpretação de dados multiespectrais em Geologia, ver-se-á inicialmente onde o sensoriamento remoto se situa como ferramenta de auxílio numa campanha de prospecção geológica. Routhier (1963) define prospecção como a "aplicação de regras estabelecidas a partir de conhecimentos prévios sobre depósitos minerais, que servem como guia à procura de novos depósitos.." O desenvolvimento de uma campanha de prospecção, como entendida por aquele autor, é constituída de quatro etapas, embora ele reconheça que não há limites precisos entre cada uma delas:

ETAPA 1 - Exploração Geológica - execução da primeira cartografia da área, em escala regional.

ETAPA 2 - Prospecção Superficial - busca de indícios superficiais e trabalhos de campo sobre esses indícios.

ETAPA 3 - Prospecção Profunda - definição do depósito (poços, trincheiras, galerias, sondagens, etc).

ETAPA 4 - Avaliação ou Estimção - ensaios, estudos de beneficiamento, infra-estrutura, mercados, etc.

Ainda de acordo com aquele autor, a prospecção é "... uma tarefa delicada que envolve a participação de todos os métodos geológicos e de outras disciplinas ...". Dentro desta visão, com o contínuo aperfeiçoamento tecnológico dos sistemas sensores e de computação, os dados de sensoriamento remoto passaram a ser empregados de maneira mais eficiente no auxílio aos métodos tradicionais de prospecção geológica.

Inicialmente o sensoriamento remoto orbital foi empregado apenas em levantamentos geológicos regionais (ETAPA 1), sendo seus produtos analisados segundo os métodos clássicos de fotointerpretação (Way, 1973; Rivereau, 1970; Soares e Fiori, 1976).

Além dos aspectos relacionados ao alcance pessoal do fotointerprete, como experiência, aptidão, interesse, motivação, etc. (Sadacca, 1963), a fotointerpretação é fundamentalmente dependente da escala e da resolução do produto fotográfico analisado, uma vez que os parâmetros básicos de análise são as feições texturais do terreno (drainagens, elementos de relevo, etc.). Sob este aspecto, a resolução espacial dos sistemas sensores orbitais atuais ainda é baixa, limitando a análise fotogeológica a escalas de ampliação não maiores que 1:250.000. Ela é prejudicada ainda pela ausência de visão estereoscópica das imagens orbitais.

O advento das imagens digitais e multiespectrais, com a consequente possibilidade do emprego de computadores, permitiu a utilização de dados de sensoriamento remoto na etapa de prospecção propriamente dita (ETAPA 2). Quando empregados a esse nível de abordagem os parâmetros básicos de análise, em vez das relações espaciais da cena, passam a ser os comportamentos espectrais das diferentes feições superficiais do terreno. Os tópicos seguintes abordam esses aspectos.

3.2.2 - ELEMENTOS DE ANÁLISE DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

O emprego de dados de sensoriamento remoto a nível de prospecção propriamente dita (ETAPA 2) é mais recente e tem como parâmetro

básico de análise o comportamento espectral do conjunto rocha-solo-vegetação, embora as relações espaciais da cena sejam também importantes. Neste nível de abordagem, a análise deve ser feita de maneira integrada, levando em consideração as características espaciais, espectrais e sazonais do alvo de interesse (Genderen, 1972; Howard, 1973; Haralick and Shanmugan, 1974; Robinov, 1979). Para isto devem-se considerar:

- a) *As Características Fisiográficas da Região* - Conduzidas basicamente pelo clima que modelará a intensidade e os tipos de alteração das rochas, e o caráter da cobertura vegetal.
- b) *Os Tipos de Depósitos e seus Controles* - Os depósitos residuais de superfície de caráter eluvionar são teoricamente os mais susceptíveis a deixar indícios nas imagens de sensoriamento remoto, embora aqueles de natureza filonares, disseminados e irregulares podem também apresentar manifestações superficiais indiretas.
- c) *As Características do Sistema Sensor* - Devem-se considerar suas resoluções *Espacial* (capacidade de discriminação entre dois pontos do terreno), *Espectral* (largura da faixa de sensibilidade de cada canal) e *Radiométrica* (capacidade de registrar variações sutis de radiância, representativas do comportamento espectral dos alvos).

A maior eficiência na extração dessas informações requer o entendimento do significado físico dos dados registrados, os quais representam o comportamento espectral integrado dos diferentes componentes da paisagem (conjunto rocha-solo-vegetação). Os fatores determinantes na discriminação espectral litológica são, assim, múltiplos, de modo que a detecção de determinado alvo geológico é função de vários parâmetros que, somados, devem refletir, direta ou indiretamente, o substrato rochoso. Como mostrado pela Figura 3.1 são em situações muito especiais o sistema sensor coleta informações diretas da rocha. O que ele registra na grande maioria dos casos são informações provenientes de produtos de alteração intempérica e da cobertura vegetal. A importância

relativa da vegetação e dos solos no dado gravado vai depender basicamente das características fisiográficas da região. Deve-se considerar ainda nesse processo o papel das variáveis ambientais envolvidas que podem, às vezes, mascarar o sinal proveniente do alvo de interesse.

Embora ocorram intimamente relacionados condicionando o sinal gravado pelo sistema sensor, ver-se-á como age cada um desses fatores da discriminação espectral litológica.

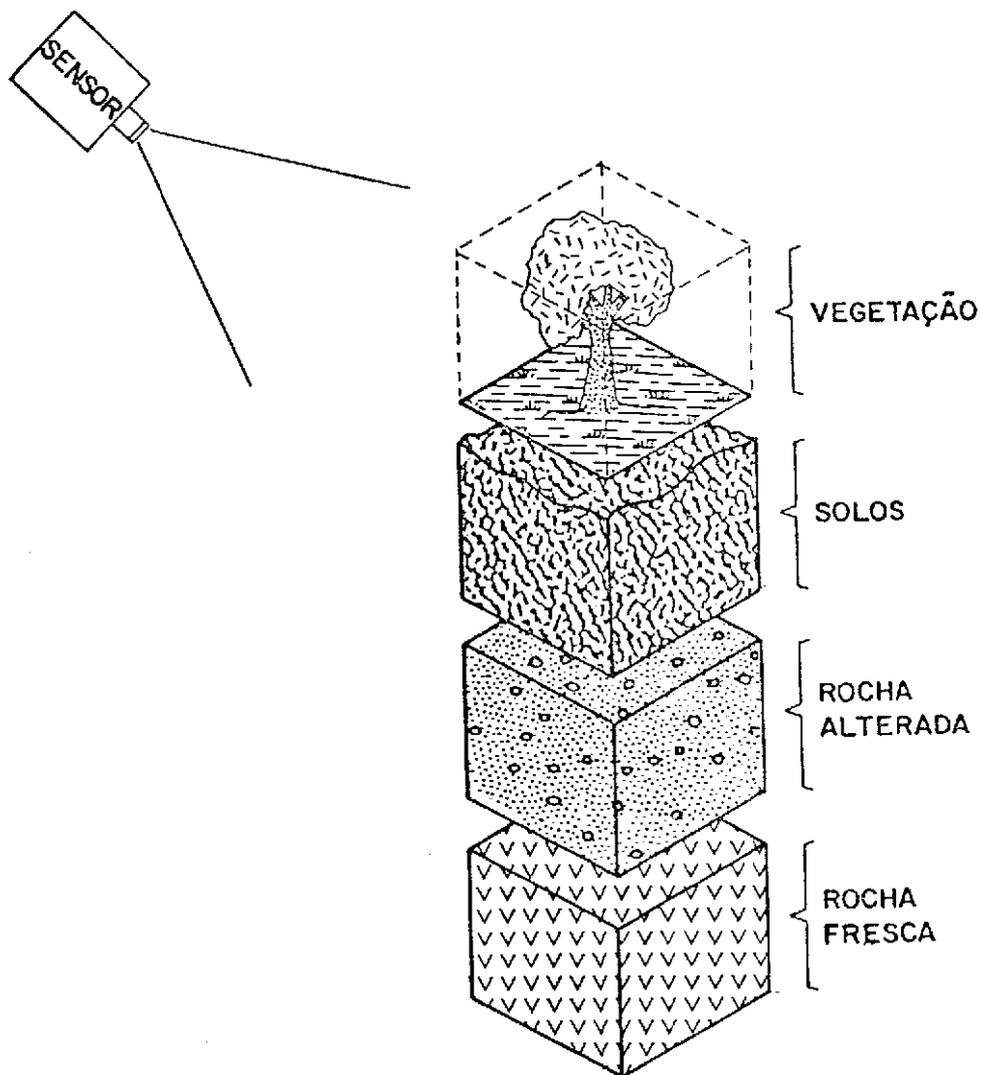


Fig. 3.1 - Interação entre o sensoriamento remoto e a geologia.

FONTE: Adaptada de Davis and Livandowski (1976).

3.2.2.1 - INFLUÊNCIA DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA LITOLOGIA

Vários autores mostram, como se viu na Seção 2.1.3, que as rochas e seus produtos de alteração são passíveis de discriminação por sensoriamento remoto, com base em suas curvas de comportamento espectral. A Figura 2.2 mostra que a distinção entre rochas ácidas e básicas (ou os solos delas derivados) é óbvia dadas as diferenças entre suas curvas de respostas espectrais. A discriminação espectral entre rochas de um mesmo clã, no entanto, não é fácil uma vez que seus comportamentos espectrais são muito semelhantes entre si.

No caso das fácies greisenizadas dentro dos maciços graníticos a substituição metassomática da biotita, o gradativo enriquecimento em moscovita, quartzo e albita, e a frequente argilização (caolinitização) associada a esses processos, criam tipologias com reflectâncias próprias capazes de ser individualizadas espectralmente, como mostram Collins (1978) e Prost (1980).

As interpretações litológicas baseadas unicamente nas respostas espectrais do terreno devem ser precedidas de muito cuidado. Com base apenas na resposta espectral um moscovita-granito pode, por exemplo, ser confundido com depósitos arenosos, com quartzitos micáceos ou com gnaisses moscovíticos claros. Esses litotipos, embora totalmente distintos do ponto de vista geológico, são constituídos predominantemente pelos mesmos minerais, podendo, assim, ter respostas espectrais próximas que os confundem nos dados de sensoriamento remoto.

3.2.2.2 - INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NATURAL

Dos parâmetros que afetam o dado gravado pelos sistemas sensores a cobertura vegetal é o mais importante pois, sendo a camada mais superficial, é, conseqüentemente, a que melhor fica registrada. Vários pesquisadores têm avaliado a sua influência no processo de discriminação espectral litológica, como Lyon (1975b), Siegal e Goetz (1977); Westin e Lemme (1978) dentre outros. É consenso que a presença

da vegetação pode alterar completamente a resposta espectral do conjunto rocha-solo. Esta influência é função basicamente da (a) densidade de cobertura vegetal do terreno, (b) resposta espectral do conjunto rocha-solo, (c) estação do ano, e (d) faixa de sensibilidade do sensor.

A vegetação pode, por outro lado, servir como elemento guia à prospecção mineral. A ecologia de uma comunidade de plantas é fortemente influenciada pela umidade, pelo pH do solo e pela presença, excesso ou deficiência de nutrientes minerais, os quais muito têm a ver com a natureza do substrato geológico (Brooks, 1972). A adaptação da flora às condições específicas do solo pode criar associações geobotânicas. Estas, de acordo com Raines e Canney (1980), podem ser representadas por: (a) modificações morfológicas na planta, envolvendo transformações biogeoquímicas nas espécies como gigantismo, mudanças de pigmentação, etc.; (b) comunidades específicas de plantas com espécies indicadoras; (c) variações na densidade de cobertura vegetal do terreno.

Espécies anômalas que compõem associações geobotânicas podem apresentar comportamentos espectrais diferenciados, como mostram Howard et alii (1971) e Yost e Wenderoth (1971). No entanto, essas comunidades de plantas só podem ser detectadas pelos sistemas sensores orbitais atuais se acarretarem também variações na densidade de cobertura vegetal do terreno em relação às áreas consideradas "normais".

A Figura 3.2 mostra as curvas médias de comportamento espectral da vegetação verde e da vegetação seca e a curva média de solos, na faixa de sensibilidade dos sensores do MSS-LANDSAT. A curva de reflectância da vegetação verde é caracterizada por forte pico de absorção da REM controlado pela clorofila em $0,65 \mu\text{m}$ e por alta resposta na faixa do infravermelho próximo. As curvas correspondentes aos solos e à vegetação seca são "lisas" e crescentes em reflectância, em direção aos comprimentos de onda maiores.

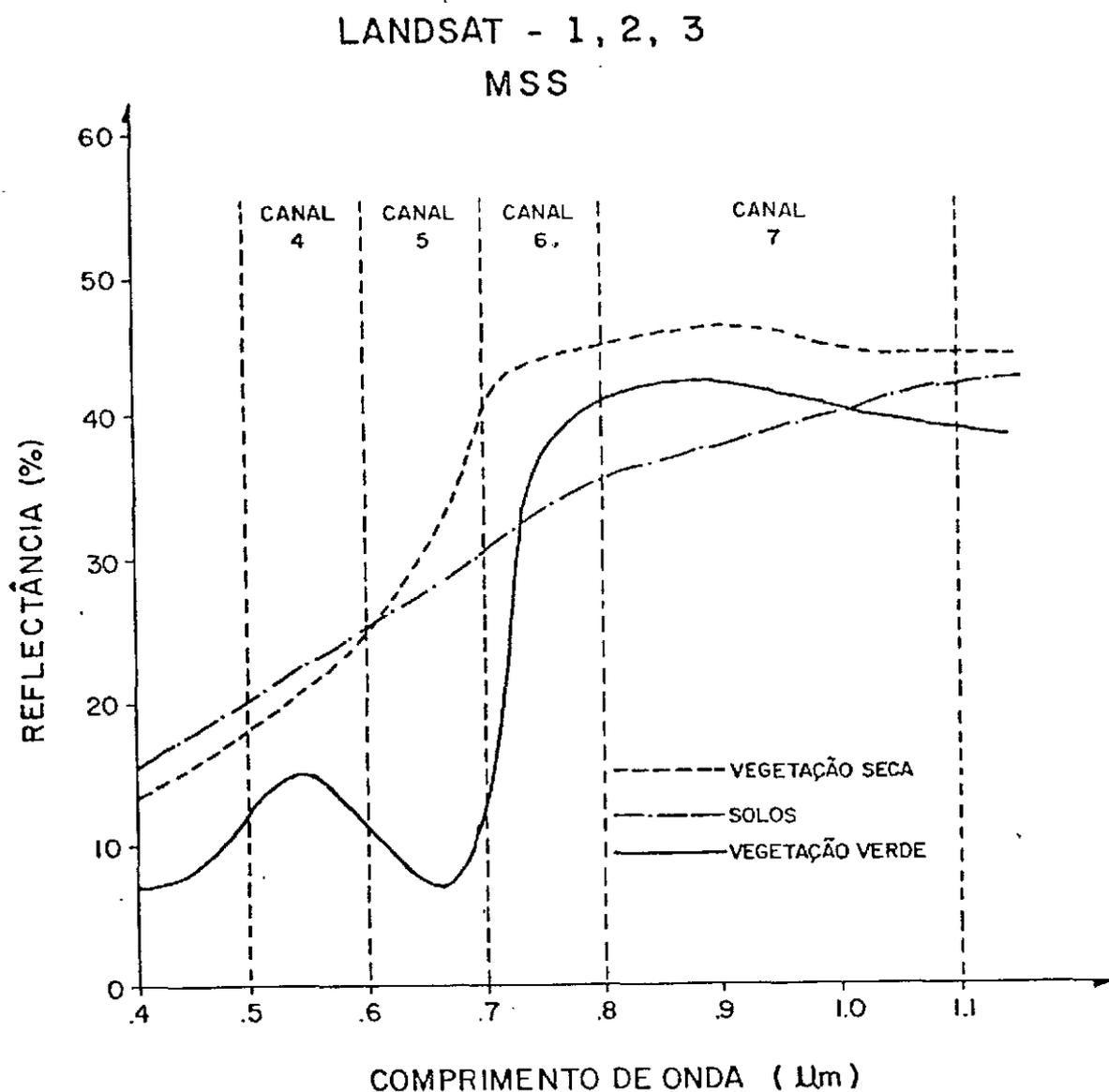


Fig. 3.2 - Curvas de reflectâncias médias da vegetação verde, da vegetação seca e de solos na faixa dos sensores do MSS-LANDSAT.

FONTE: Adaptada de Hoffer (1978).

A análise de Figura 3.2 mostra que o canal 5 do MSS é a banda mais indicada para registrar variações tonais representativas de diferentes associações de rocha-solo-vegetação. Isto decorre em função dos comportamentos espectrais dos solos e da vegetação serem opostos na quele intervalo. As tonalidades escuras no canal 5 devem estar relacionadas a áreas com cobertura vegetal, uma vez que esta absorve a REM incidente. As tonalidades claras naquele canal, ao contrário, devem estar associadas a áreas com cobertura vegetal pouco densa.

Em condições de floresta tropical densa como na Amazônia as imagens do canal 5 quase não trazem informações devido à intensa absorção da REM neste intervalo espectral.

Na banda do canal 7, tanto os solos quanto a vegetação refletem igualmente bem a REM. Assim, os contrastes tonais entre estas duas feições são mais sutis neste canal, mas podem trazer informações do terreno. As áreas com maior densidade de cobertura vegetal aparecerão em tonalidades mais claras, enquanto tons mais escuros estão associados a maiores exposições de terreno.

3.2.2.3- INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES SAZONAIS NO COMPORTAMENTO DA VEGETAÇÃO

Após o surgimento dos satélites de sensoriamento remoto e a possibilidade de obtenção de imagens sucessivas de uma mesma área, em diferentes épocas do ano, grande importância é dada às variações sazonais da paisagem (Moore and Gregory, 1973; Grootenboer, 1973; Almei da Filho, 1982b). Dentre estas merecem especial atenção as variações na cobertura vegetal e nas condições de iluminação da área.

Na estação de chuvas, o maior vigor da vegetação acarreta forte absorção da REM na banda do canal 5, fazendo com que áreas de maior cobertura vegetal e áreas de solos nus sejam bem contrastadas em imagens desse canal obtidas nessa época do ano.

Na estação seca, devido ao menor vigor da folhagem e em especial das gramíneas que em geral estão secas, a curva de comportamen

to espectral da vegetação perde o pico de absorção pela clorofila, aproximando-se, então, da curva dos solos (Figura 3.2). Em consequência, a distinção entre áreas com diferentes índices de cobertura vegetal é dificultada em imagens do canal 5 nessa época do ano.

3.2.2.4 - INFLUÊNCIA DAS VARIAÇÕES SAZONAIS NAS CONDIÇÕES DE ILUMINAÇÃO

Quanto às condições de iluminação as imagens obtidas na primavera-verão (estação de chuvas), tomadas sob ângulos de elevação solar mais altos, mostram a superfície do terreno mais uniformemente iluminada, minimizando, assim, os efeitos de sombreamento. Já aquelas do outono-inverno, tomadas sob ângulos de elevação solar mais baixos, exibem fortes sombreamentos.

Devido ao sombreamento mais intenso, as imagens obtidas sob ângulos de elevação solar mais baixos realçam melhor as feições topográficas de micro e macro relevos, as quais são parâmetros de grande importância na fotointerpretação geológica, como mostram Hackman (1967) e Walker e Trexler (1977).

Quando se usam as variações tonais de uma imagem procurando interpretá-las como representativas do comportamento espectral das diferentes associações de rocha-solo-vegetação, as variações de iluminação são indesejáveis. Elas podem criar variações de tons dentro de uma mesma unidade, fazendo com que alvos semelhantes apareçam de maneira distinta nos produtos de sensores remotos.

As relações geométricas entre a orientação das cristas topográficas e os ângulos solares de elevação e azimute são responsáveis por essas variações de iluminação. Se determinada feição topográfica orienta-se na mesma direção do azimute solar, ambos os seus lados serão uniformemente iluminados. Se, ao contrário, ela formar determinado ângulo em relação à direção de iluminação, como normalmente ocorre, suas faces serão diferentemente iluminadas, ocorrendo efeitos importantes de sombreamento.

A Equação 2.7 mostra que a irradiância em cada *pixel* varia diretamente com o co-seno do ângulo entre a direção do raio solar e a normal à superfície. A Figura 3.3 ilustra diferentes condições de iluminação de uma área em função das relações entre a topografia e os ângulos solares. No exemplo, o ponto A representa uma área onde se admite que as condições de iluminação são "normais" devido à topografia plana; B é uma área de intensa iluminação devido à incidência frontal dos raios solares; enquanto C está numa zona de "sombras", iluminada apenas pela radiação difusa na atmosfera, ou pela reflexão na topografia vizinha.

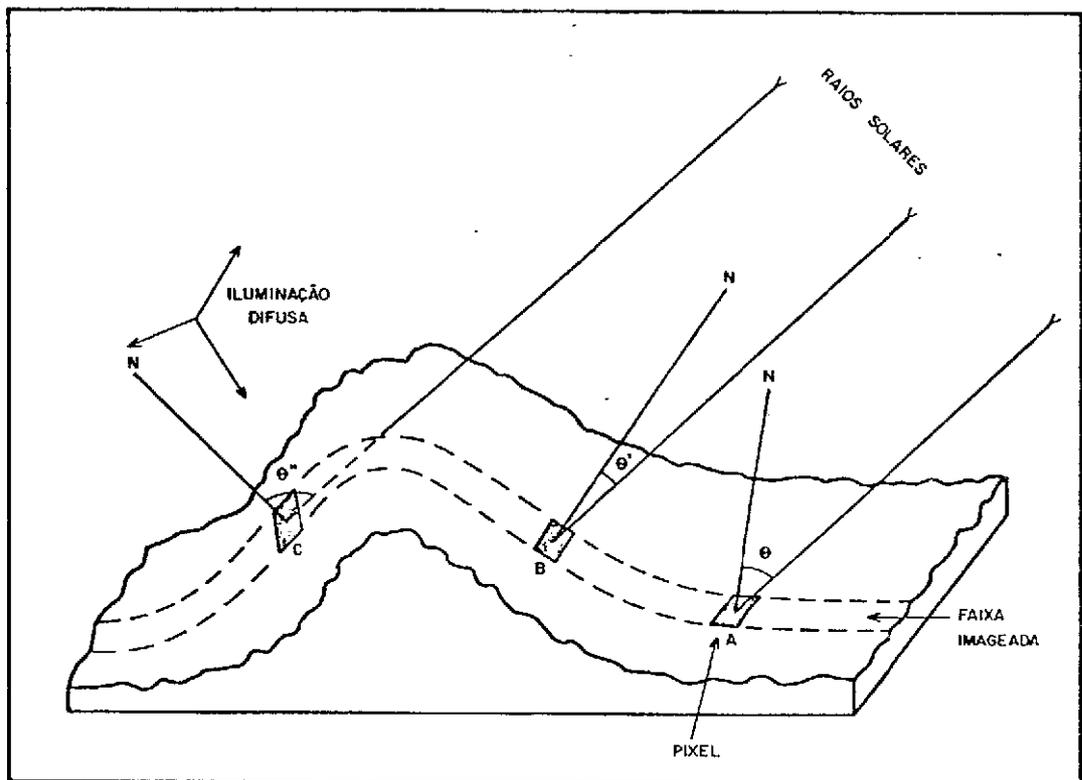


Fig. 3.3 - Diferentes condições de iluminação de uma área, em função da topografia.

FONTE: Adaptada de Kowalik (1981).

Como a radiância, grandeza radiométrica registrada pelos sistemas sensores, é diretamente proporcional à irradiância e esta obedece a uma relação co-seno, conclui-se que um mesmo alvo poderá aparecer com tonalidades diferentes se estiver submetido a diferentes condições de iluminação (Coulson et alii, 1965; Egbert and Ulaby, 1972).

3.2.2.5 - INFLUÊNCIA DA ATMOSFERA

Ao analisar dados de sensoriamento remoto, especialmente aqueles coletados por plataformas espaciais, atenção especial deve ser dada aos efeitos atmosféricos, pois muitos problemas envolvendo o reconhecimento e separabilidade de alvos são devidos a esses efeitos. Eles atuam basicamente de três maneiras:

- a) Modificam a distribuição espectral e espacial da REM incidente sobre a superfície.
- b) Atenuam o sinal refletido pelo alvo, modificando a relação sinal/ruído e introduzem modificações em sua natureza espectral, uma vez que o espalhamento e a absorção são seletivos em relação ao comprimento de onda.
- c) Adicionam uma componente de radiação espalhada no sinal proveniente do alvo e coletado pelo sensor, denominada *Radiância de Trajetória*.

Dos três efeitos acima mencionados, o último é o que mais afeta os dados de sensoriamento remoto, sendo mais intenso nos comprimentos de onda menores. Ele diminui o contraste das imagens, ao introduzir no sinal recebido pelo sensor uma componente espectral estranha àquela proveniente do alvo.

3.2.2.6 - INFLUÊNCIA DA ATIVIDADE ANTRÓPICA

A remoção da cobertura vegetal natural através da atividade agropastoril e o hábito das queimadas periódicas na estação seca são as atividades antrópicas que mais afetam os dados de sensoriamento

remoto. Esses fatores devem ser sempre considerados antes da análise desses dados, uma vez que eles introduzem parâmetros estranhos às relações de comportamento espectral do conjunto rocha-solo-vegetação.

3.2.2.7 - ANÁLISE DE DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO NAS CONDIÇÕES AMAZÔNICAS

Muitas das considerações discutidas nas Seções anteriores deste capítulo são válidas se as características fisiográficas da área em foco permitirem aos sistemas sensores a coleta de informações diretas do conjunto rocha-solo-vegetação, registrando-as de acordo com seus comportamentos espectrais em cada canal. Este não é o caso das regiões de florestas tropicais como a Amazônia, onde a REM não atinge o terreno e, assim, as informações registradas pelos sistemas sensores são provenientes do topo da cobertura vegetal. Por esta razão a Amazônia é, dentre todas as regiões morfoclimáticas brasileiras (Ab'Saber, 1970), aquela que mostra a mais fraca expressão superficial dos elementos geológicos do relevo, determinando em consequência, baixa eficácia das técnicas de fotointerpretação naquela ampla região. Isto decorre em função da floresta tropical que transgride indistintamente diferentes formações geológicas, devido ao profundo intemperismo químico das rochas e à presença frequente de extensas coberturas sedimentares quaternárias. Diante deste quadro, a análise e interpretação fotogeológica na Região Amazônica parte de duas premissas básicas: (a) mesmo sob todas essas condições, os produtos sensores, através de tratamentos especiais, são capazes de registrar manifestações tênues da morfologia do terreno; e (b) que tal morfologia guarda relações com a natureza da litologia subjacente.

Para Tricart (1975) a Amazônia é atualmente uma região de estabilidade morfogenética, dado que a floresta tropical inibe a atuação dos processos erosivos. O relevo dissecado observado em extensas áreas seria relíquia das épocas de pedimentação associadas às flutuações climáticas do Quaternário. Durante os períodos secos ocorreria a dissecação do relevo, dado ao recuo da floresta e sua substituição por coberturas vegetais menos densas. Linha oposta a esta é defendida

por Bremer (1973) que considera a Amazônia uma região morfodinamicamente ativa, onde a formação de vales e o aplanamento do relevo ocorrem lado a lado. Trabalhando em áreas montanhosas e em terras baixas em Papua-Nova Guiné, as quais lembram parte da Amazônia Brasileira, Löffler (1977) reconheceu a importância desses processos no modelamento da paisagem em regiões de florestas tropicais. Wilhelmy em 1975 (apud Löffler, 1977) também considera as regiões tropicais úmidas como áreas de intensa incisão linear e formação de vales, enquanto Cunha et alii (1975) mostram que nesses ambientes tropicais, onde a espessura do regolito atinge dezenas de metros, a implantação da rede de drenagem é preferencialmente controlada pelas propriedades estruturais e mecânicas do manto alterado.

Herwitz (1981) sustenta que para o padrão de drenagem das regiões tropicais, com profundo manto de intemperismo, guardar relações com o estruturamento do embasamento geológico (falhas e fraturas), é necessário que a drenagem inicialmente implantada persista através do tempo controlada pelas linhas de fraqueza originais do substrato. Estes locais seriam áreas de atuação intempérica preferencialmente mais intensa, levando ao alargamento e à incisão mais profunda dos vales, pela ação combinada do intemperismo químico e da erosão mecânica, como esquematizado pela figura 3.4. A fratura inicial na rocha torna-se gradativamente alargada pela circulação preferencial de água subterrânea. À medida que o processo intempérico subterrâneo evolui, manifestam-se pontos de subsidência local do regolito, especialmente onde este é menos espesso, ou em locais de fluxo aquático subterrâneo mais intenso. Esses locais de subsidência incipiente levam à formação do canal superficial controlado pelas linhas de fraquezas do substrato geológico.

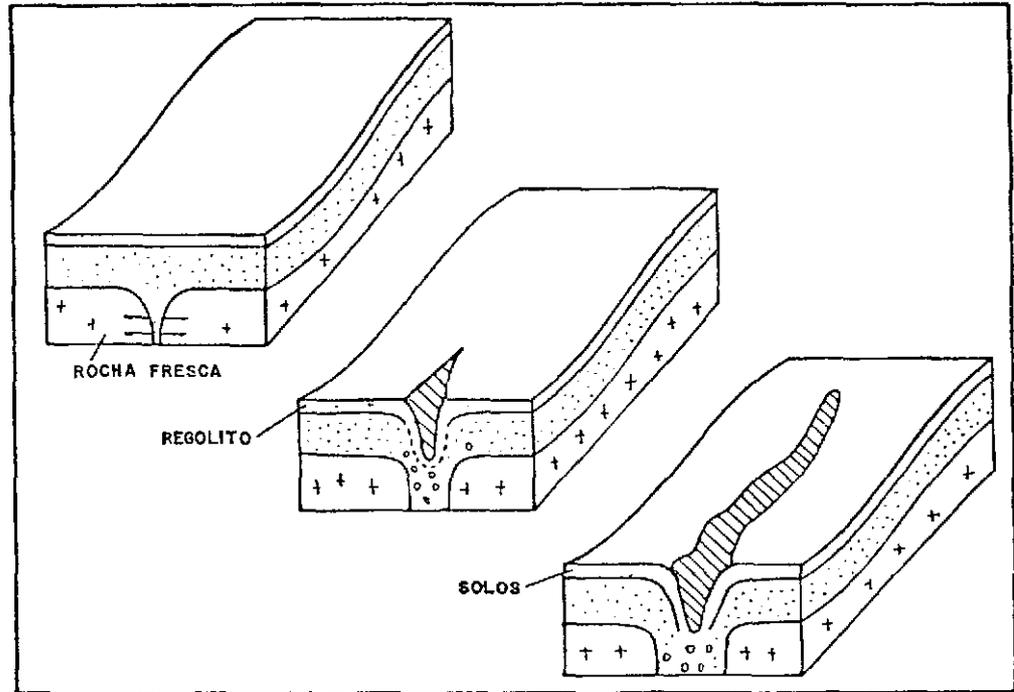


Fig. 3.4 - Sequência hipotética de formação de vales controlados por fraturas do substrato geológico, em áreas tropicais florestadas com profundo manto de intemperismo.

FONTE: Herwitz (1981).

O reflexo de sistemas de fraturas do embasamento geológico em coberturas pouco consolidadas nem sempre se manifesta através da implantação de vales condicionados por aqueles sistemas. Rumsey (1971) faz uma ampla discussão sobre "fraturas" observadas em depósitos inconsolidados superficiais e suas relações com o substrato geológico. Esse autor mostra que traços superficiais dessas fraturas dificilmente podem ser observados em campo, sendo, no entanto, evidentes em fotografias aéreas, podendo se manifestar como alinhamento de árvores ou como variações na tonalidade da vegetação. Em áreas onde lineamentos fotogeológicos puderam ser constatados a nível de campo foi comprovado o seu relacionamento com fraturas do embasamento. Tal autor concorda que os mecanismos que levam à manifestação superficial de fraturas do substrato rochoso,

através de sedimentos inconsolidados e da vegetação, estão ligados à atividade da água subterrânea, condicionada por esses planos de fraqueza. A maior capacidade de retenção e percolação de água subterrânea nesses locais favorece o desenvolvimento diferenciado da vegetação.

Em Rondônia, a atividade e o reflexo dessas fraturas nos depósitos sedimentares quaternários chegam a manifestar-se, às vezes, como verdadeiras falhas. Isto pode ser observado em fraturas que cortam conglomerados ligados ao sistema de drenagem holocênico, onde se nota material de fricção ao longo de seus planos, formando falhas até com 10 metros de comprimento (Bettencourt, informação verbal). Não existem ainda, no entanto, dados de campo nos quais se possa basear para afirmar se essas fraturas/falhas são resultantes da propagação de movimentos de fraturas preexistentes, ou de acomodação do material menos consolidado sobre elas, ou, por outro lado, se decorrem de algum episódio ligado à neotectônica do Quaternário.

A manifestação superficial mais nítida desses sistemas de falhas/fraturas em Rondônia, no entanto, faz-se através da vegetação, sendo comum o alinhamento de árvores, facilmente observável em fotografias aéreas. Em imagens orbitais esses sistemas de falhas/fraturas manifestam-se como extensos lineamentos fotogeológicos.

Pode-se concluir do acima discutido que, dadas às características específicas da Amazônia, o emprego de sensoriamento remoto naquelas condições não pode visar a discriminação espectral direta de litotipos específicos. A presença da floresta tropical transgredindo diferentes litologias impede esse tipo de abordagem. Para as condições típicas da Amazônia os parâmetros básicos de análise devem ser as relações espaciais da cena. No caso específico do estudo de corpos graníticos geoquimicamente especializados a Sn, devem ser buscados indícios de feições morfoestruturais, possivelmente indicativas de variações faciológicas no interior desses maciços, e de feições indicativas de traços de falhas/fraturas, as quais podem ser controles importantes da mineralização primária.

3.2.3-ANÁLISE DAS IMAGENS ATRAVÉS DO ANALISADOR MULTIESPECTRAL I-100

As informações espectrais derivadas da superfície terrestre e/ou da cobertura vegetal são gravadas pelos sistemas sensores como sutis variações de tons de cinza. Para realçar essas variações tonais e ao mesmo tempo minimizar os efeitos das variações ambientais envolvidas, várias técnicas de realce de imagens são utilizadas através do emprego de computadores. No presente trabalho utilizou-se o Analisador Multiespectral *IMAGE-100* (General Electric, 1975), o qual é constituído basicamente pelos seguintes componentes (Figura 3.5):

- 1) *Analisador* - É o conjunto I-100 propriamente dito, constituído de um vídeo de TV em cores e dos painéis de controle. No painel de vídeo estão os botões reguladores de brilho e de contraste da cena, os filtros e o manejo do cursor.
- 2) *Processador* - É constituído de um minicomputador PDP/11-45 e seus periféricos: unidades de leitura de fitas magnéticas, discos e impressora de caracteres.
- 3) *Console do Operador* - É a unidade de interação entre o usuário e o sistema para a introdução de programas, fornecimento e solicitação de informações, saídas de dados numéricos e gráficos.
- 4) *Memória de Imagem* - Serve ao armazenamento até de 5 imagens, ou 4 imagens e 8 temas resultantes de classificações.

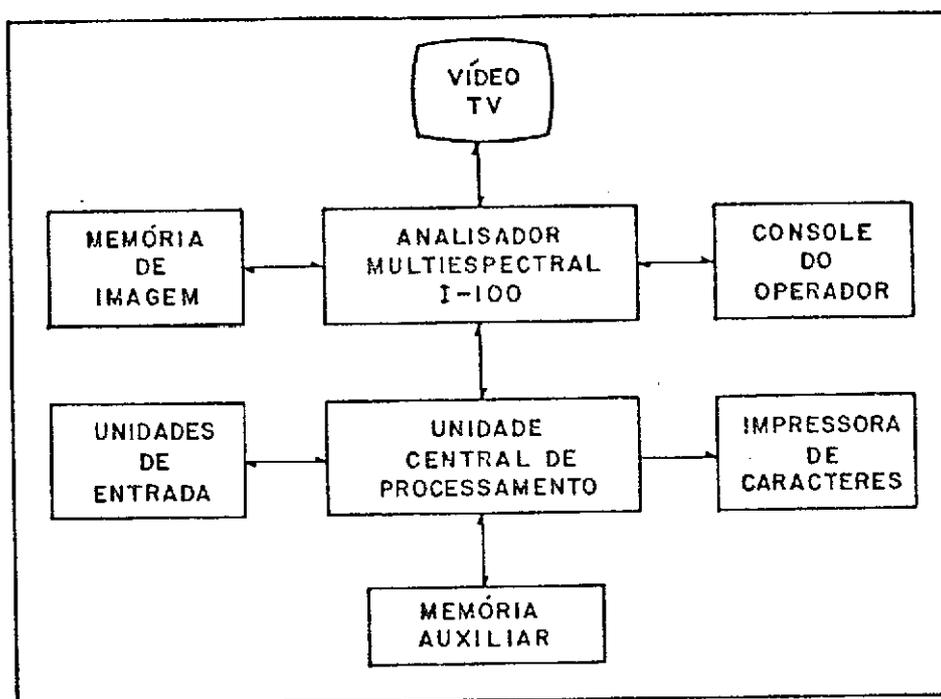


Fig. 3.5 - Configuração básica do Analisador I-100

Dada a amplitude do tema (Taranik, 1977; Gillespie, 1980) serão abordados aqui, de maneira sucinta, apenas os passos metodológicos seguidos neste trabalho, os quais são mostrados no fluxograma da Figura 3.6:

- a) *Entrada dos Dados* - Os dados analisados no I-100 são as imagens multiespectrais do MSS-LANDSAT na forma de fitas magnéticas compatíveis com computador (CCT). Uma imagem digital é constituída por uma matriz de N linhas e M colunas definidas por pontos (*pixels*), com valores específicos de níveis de cinza. Ela pode ser representada também por seu histograma que é a representação gráfica da ocorrência dos seus níveis de cinza, cujos valores de média e variância dão, respectivamente, indicações sobre o brilho e o contraste da imagem.

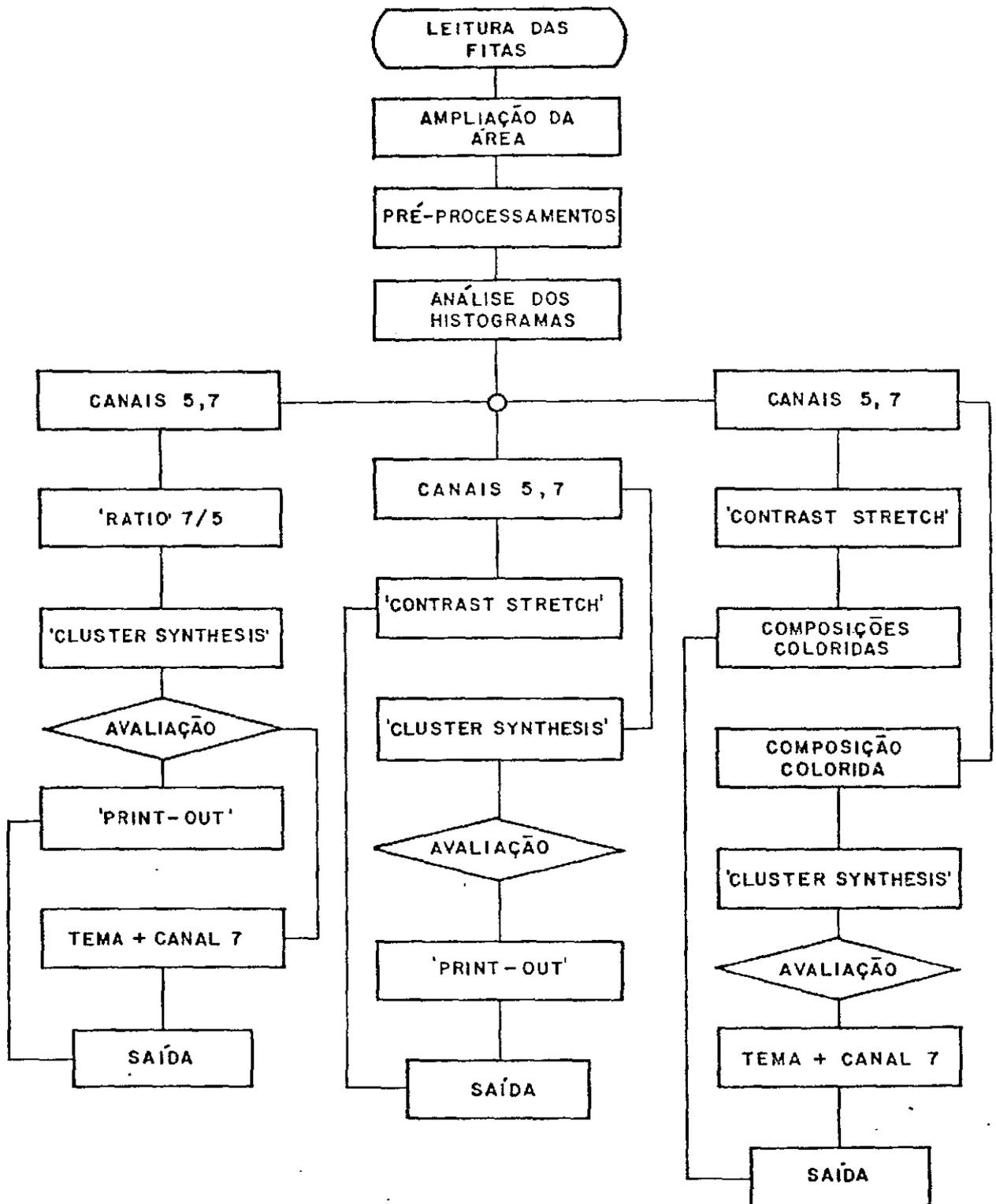


Fig. 3.6 - Fluxograma de utilização do I-100.

b) *Ampliação da Área* - Após a leitura da fita pelo computador as áreas a serem estudadas foram colocadas em escalas convenientes. Em Goiás utilizaram-se ampliações de vídeo de 1:75.000 e em Rondônia de 1:100.000.

c) *Pré-Processamentos* - As imagens foram corrigidas quanto à presença de ruídos decorrentes do desequilíbrio eventual de algum sensor e quanto aos efeitos de espalhamento atmosférico. Para a correção do espalhamento atmosférico utilizou-se o método da subtração dos menores valores de níveis de cinza, lidos em áreas de "sombras" em cada canal (Sharma and Labs, 1972; Taranik, 1977).

d) *Algoritmos* - Procurou-se utilizar o menor número possível de programas, dando-se preferência àqueles de formulação matemática mais simples. Esses programas visam o realce das informações espectrais contidas nas imagens e a minimização dos efeitos das variáveis ambientais envolvidas. Assim, utilizaram-se Ampliações de Contraste (*Contrast Stretch*) Composições Coloridas, Divisão de Canais (*Band Ratios*) e *Cluster Synthesis*.

- *Contrast Stretch* - Este programa visa tornar a imagem mais contrastada através da redistribuição dos níveis de cinza, linearmente ou não, fazendo-os ocupar todo o intervalo de 256 níveis, compreendidos entre o preto (zero) e o branco (255).

- *Composições Coloridas* - As composições coloridas são obtidas através da combinação de dois ou três canais, vistos individualmente através de filtros com as cores azul, verde e vermelho, ou suas complementares. Elas podem ser simples ou com *Contrast Stretch*.

- *Divisão de Canais* - A técnica da divisão de canais (*Ratio*) consiste na divisão, *pixel a pixel*, dos valores de radiâncias entre diferentes canais. A imagem resultante é menos depen

dente dos efeitos atmosféricos multiplicativos e minimiza os efeitos de iluminação (Vicent, 1973; Almeida Filho and Vitorello, 1981), uma vez que a divisão de um canal por outro atenua o efeito de τ e cancela do co-seno de θ (Equação 2.7).

As imagens digitais são formadas por matrizes de pontos com valores inteiros. Como a divisão entre *pixels* em geral tem como resultados números reais (R), e frequentemente com valores muito próximos entre si, costuma-se multiplicar esses valores por um *Ganho* (G) e somar a este resultado um valor, também arbitrariamente escolhido (V), tornando a imagem *ratio* (I_r) mais contrastada:

$$I_r = R \cdot G + V .$$

Todas as imagens *ratio* analisadas neste trabalho foram obtidas com $G = 30.0$ e $V = 80.0$.

- *Cluster Synthesis* - Este programa permite identificar e definir, a partir de áreas de amostragens previamente conhecidas, os intervalos de níveis de cinza em que determinada classe está contida. Os *pixels* pertencentes à classe pesquisada são, então, realçados sobre a imagem.

3.2.4-FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES NA PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE GOIÁS

Todos os parâmetros básicos a serem considerados no processo de análise e interpretação de dados multiespectrais em Geologia, em regiões com características fisiográficas como as do cerrado goiano, onde os dados gravados pelos sistemas sensores trazem informações do conjunto rocha-solo-vegetação, foram discutidos nas Seções 3.2.2.1 a 3.2.2.6. Adotou-se como área modelo do desenvolvimento metodológico, a ser aplicado posteriormente no estudo dos demais corpos graníticos da região, o maciço da Serra da Pedra Branca. A escolha deveu-se ao conhecimento prévio sobre sua geologia, fruto de vários anos de pesquisas desenvolvidas pela DOCEGEO na área, e à extensão de suas fácies albitizadas/greisenizadas. A conjunção desses dois fatores facilitaria a correlação entre as informações extraídas dos produtos sensores com os dados prévios de campo.

A Figura 3.7 mostra o fluxograma das atividades desenvolvidas no estudo do maciço da Serra da Pedra Branca, as quais serviram de base para o estudo dos demais corpos graníticos analisados na Província Estanífera de Goiás; e cujos principais tópicos são descritos a seguir:

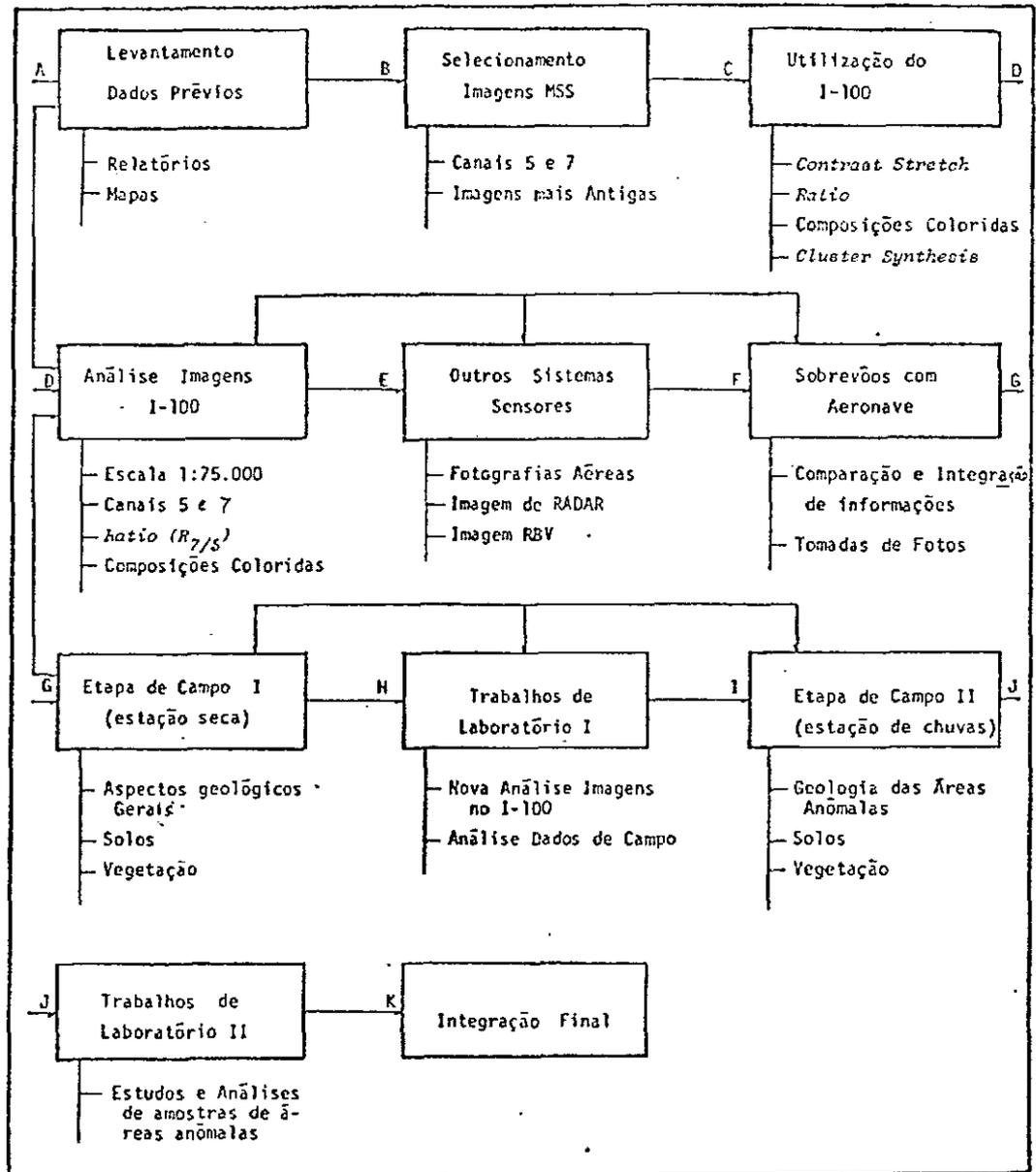


Fig. 3.7 - Fluxograma das atividades desenvolvidas no estudo de corpos graníticos da Província Estaniífera de Goiás.

- a) *Levantamento dos Dados Prévios*: O trabalho teve seu início a partir de contatos com as empresas de mineração concessionárias das áreas de pesquisas aqui enfocadas. A partir deles foi elaborado um plano de cooperação técnica com essas empresas para o estudo das áreas *através das técnicas de sensoriamento remoto*. Participaram desse acordo a Metais de Goiás S.A. (METAGO), a Mineração Oriente Novo S.A. (Grupo Brumadinho) e, parcialmente, a Rio Doce Geologia e Mineração S.A. (DOCEGEO). Foi colocada à disposição do autor a infra-estrutura para trabalhos de campo nas áreas, o acesso a relatórios e dados internos, lâminas petrográficas, análises químicas, etc. Em troca, os dados obtidos na pesquisa seriam passados às empresas.
- b) *Selecionamento das Imagens*: O trabalho teve seu início efetivo com a seleção das imagens LANDSAT a ser analisadas. Dado que os canais do MSS no visível (4 e 5) e no infravermelho (6 e 7) são mutuamente correlacionáveis, em termos de significância espectral do dado gravado, analisaram-se apenas os canais 5 e 7. Foram utilizados dois conjuntos, um tomado na estação seca (inverno) e outro na estação de chuvas (verão), correspondentes à órbita 192, ponto 21, de acordo com o *Sistema Brasileiro de Referência* para localização geográfica das imagens LANDSAT. Visando minimizar ao máximo os efeitos da atividade antrópica, especialmente ligada à atividade de garimpeiros, a qual mascara muitas das características superficiais do terreno, selecionaram-se as passagens mais antigas disponíveis em cada estação. Assim, as imagens da estação seca foram tomadas em 23 de junho de 1973 (início, portanto, da atividade garimpeira na região), sob ângulo de elevação solar de 30° e azimute de 45° . As imagens da estação de chuvas foram obtidas no dia 18 de março de 1975, com ângulo de elevação solar de 46° e azimute de 77° .
- c) *Utilização do I-100*: A Seção 3.3 descreve os passos metodológicos e os algoritmos de análise das imagens multiespectrais do LANDSAT, no I-100, adotados neste trabalho. Embora as imagens

do canal 5, as imagens *ratio* e as composições coloridas tenham sido analisadas conjuntamente, elas serão discutidas em tópicos separados no texto, obedecendo a sequência acima, a qual expressa o aumento do grau de complexidade do significado espectral do dado registrado em cada um daqueles produtos. À medida que a nível das imagens *ratio* foi possível discriminar as áreas de rochas greisenizadas dentro de cada maciço, as composições coloridas não serão discutidas, embora tenham sido também analisadas. Elas só serão discutidas nos maciços em que sua utilização particular tornou-se imprescindível à discriminação daquelas áreas. A individualização das áreas espectralmente anômalas foi feita através do programa *Cluster Synthesis*. Como o canal 7 mostra melhor a morfologia do terreno, essas áreas foram sobrepostas a ele como um tema para uma visualização mais perfeita da distribuição das mesmas dentro do maciço.

- d) *Análise das Imagens*: As imagens foram ampliadas para a escala de vídeo de 1:75.000, obtendo-se os seguintes produtos correspondentes às estações seca e de chuvas: canais 5 e 7, imagens *ratio* (R7/5) e composições coloridas. Eles foram copiados em papel, a partir de fotografias obtidas diretamente do vídeo de TV, ou gravadas como *print-outs*. Neste estágio foi feita a primeira avaliação de cada um desses produtos na discriminação das áreas greisenizadas, em função dos dados prévios de campo, disponíveis para o maciço da Serra da Pedra Branca.
- e) *Outros Sistemas Sensores*: Foram analisados paralelamente: fotografias aéreas, imagens de RADAR e imagens RBV, comparando-as com os produtos do LANDSAT e com os dados de campo.
- f) *Sobrevôos com Aeronave*: Após a análise preliminar das imagens no I-100 foram realizados sobrevôos nas áreas. O objetivo foi auxiliar à interpretação das características espectrais do terreno registradas nas imagens, a partir da visão integrada de extensas áreas favorecida pelos sobrevôos. Durante essas missões eram obtidas fotografias em branco e preto e *slides*.

- g) *Etapa de Campo I*: Foi desenvolvida durante a estação seca, tendo como objetivo uma primeira visão dos principais tipos litológicos encontrados no maciço, seus produtos de alteração (solos), cobertura vegetal e correlacionamento preliminar dessas feições com as características espectrais registradas nas imagens.
- h) *Trabalhos de Laboratório I*: Após o primeiro reconhecimento de campo procedeu-se a uma nova análise das imagens no I-100, definindo melhor e quantificando, em termos de níveis de cinza, as áreas anômalas. Foram feitas análises químicas de solos e levantadas curvas de comportamento espectral de alguns tipos litológicos.
- i) *Etapa de Campo II*: Foi desenvolvida na estação de chuvas com o intuito de verificar o comportamento diferenciado da cobertura vegetal nas áreas de biotita-granitos e moscovita-granitos albitizados/greisenizados, como indicado nas imagens dessa estação. Os trabalhos de campo foram agora dirigidos especificamente ao levantamento geológico das áreas anômalas previamente selecionadas em laboratório.
- j) *Trabalhos de Laboratório II*: Foram feitas análises químicas de rochas e solos e estudos petrográficos, a nível de descrição, dos tipos mais representativos encontrados nas áreas estudadas.
- k) *Integração Final*: A integração de todos os dados levou à elaboração de um modelo a ser aplicado no levantamento dos demais maciços graníticos da região.

Embora tenham sido estudados todos os corpos graníticos da Subprovíncia do Rio Paranã e o maciço da Serra Branca, no vale do rio Maranhão serão discutidos em detalhes apenas os resultados obtidos nos maciços da Serra da Pedra Branca, Serra do Mocambo e Serra do Mendes. Uma discussão detalhada de todos eles seria, em muitos aspectos, uma mera repetição das conclusões obtidas naqueles três maciços. O Ca

pítulo 8, contudo, apresenta uma síntese dos resultados nos demais maciços analisados na Província Estanífera de Goiás. O maciço da Serra da Pedra Branca, como se viu, constituiu a área-modelo do desenvolvimento metodológico a ser aplicado nos demais corpos graníticos. O maciço da Serra do Mocambo foi escolhido para discussão detalhada por ser ainda uma área com total ausência de dados geológicos e com grande potencial mineral, constituindo, assim, um caso ideal para a avaliação do método. O maciço da Serra do Mendes, também sem informações na época do início dos trabalhos, mostra, por sua vez, características superficiais ligeiramente diferentes dos demais, justificando sua inclusão para discussão mais detalhada.

3.2.5- FLUXOGRAMA DAS ATIVIDADES NA PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA

Os parâmetros básicos a considerar durante a utilização de dados de sensoriamento remoto nas condições fisiográficas de Rondônia, e da Amazônia de um modo geral, foram discutidos na Seção 3.2.2.7. A Figura 3.8 mostra o fluxograma das atividades desenvolvidas no estudo de corpos graníticos da Província Estanífera de Rondônia cujos principais tópicos são descritos a seguir:

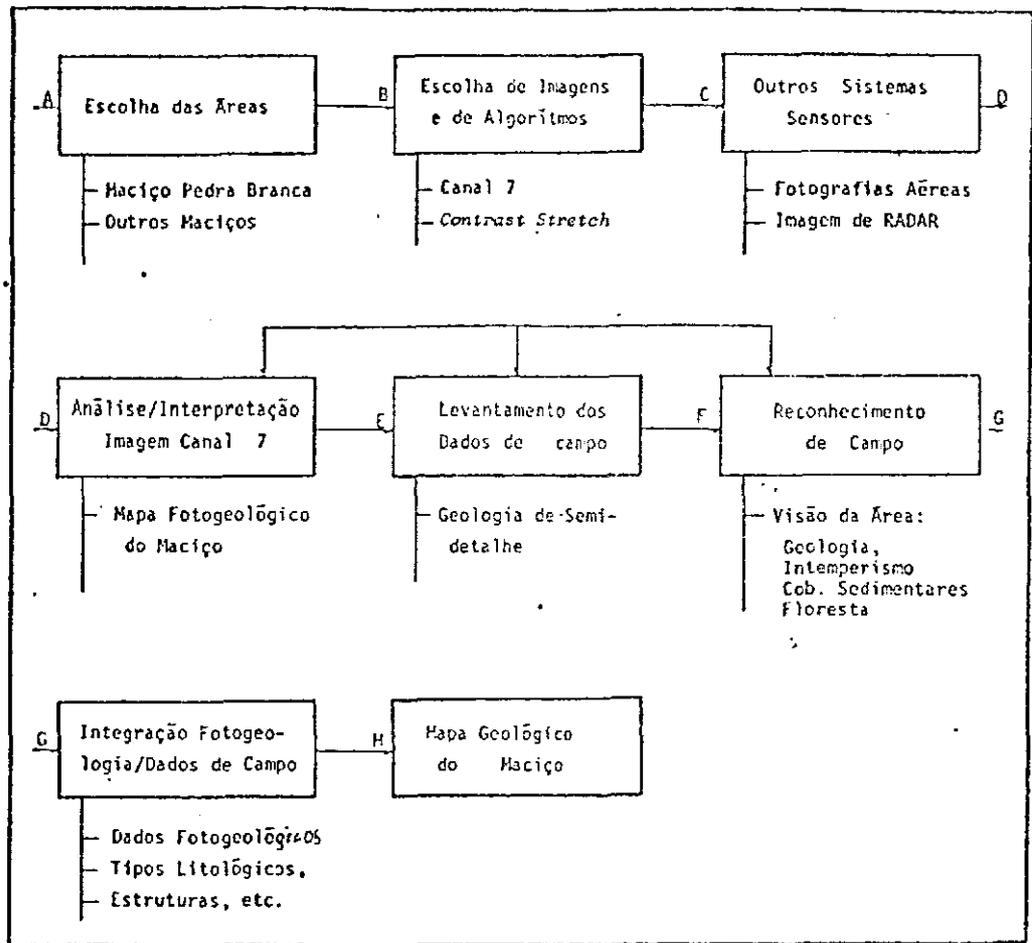


Fig. 3.8 - Fluxograma das atividades desenvolvidas no estudo do maciço Pedra Branca, em Rondônia.

a) *Escolha das Áreas*: Foram analisadas preliminarmente imagens de sensoriamento remoto em vários corpos graníticos da região. A ausência de dados de campo, decorrente da lentidão dos trabalhos de mapeamento geológico nas condições amazônicas, não permitiu que todos os maciços analisados fossem aqui discutidos. Desse modo a escolha do maciço Pedra Branca (Bom Futuro) como área teste deve-se basicamente ao fato de os trabalhos de campo, a nível de semidetalhe (escala de 1:25.000), terem sido concluídos a tempo, permitindo que os dados fotogeológicos extraídos das imagens pudessem ser avaliados quanto ao seu real significado geológico.

- b) *Selecionamento das Imagens e dos Algoritmos:* Em Rondônia analisaram-se apenas as imagens da estação seca, correspondente à órbita 346, ponto 19, obtida em 21 de junho de 1976, com ângulo de elevação solar de 32° e azimute de 53° . O ângulo de elevação solar mais baixo nessa época do ano favorece o realce das feições morfológicas nas imagens. As razões que levaram à escolha do canal 7, realçado com *Linear Contrast Stretch*, são discutidas na Seção 10.4.1. As ampliações no vídeo de TV foram em 1:100.000.
- c) *Outros Sistemas Sensores:* Paralelamente às imagens MSS foram analisadas fotografias aéreas na escala de 1:25.000 e imagens de RADAR ampliadas para a escala de 1:100.000.
- d) *Análise e Interpretação da Imagem do Canal 7:* A análise da imagem e a consequente elaboração do mapa fotogeológico do maciço a partir de dados LANDSAT foi feita antes do início dos trabalhos de campo e, portanto, sem conhecimento prévio de qualquer informação geológica sobre a área, evitando-se, com isto, qualquer tendenciosidade no processo de análise e interpretação.
- e) *Levantamento dos Dados de Campo:* Foram responsáveis pelo levantamento dos dados de campo os geólogos Bruno L. Payolla, Onofre G. de Pinho e Heins A. Trein, sob a coordenação do Dr. Jorge S. Bettencourt, todos pertencentes à empresa Mineração Oriente Novo, que detém a área aqui enfocada. Dada a inacessibilidade à área devido à floresta, foram abertas picadas mestras Norte-sul espaçadas de 2 km e picadas secundárias este-oeste, com espaçamentos de 300 e/ou 500 metros. Elas permitiram que fossem executados cerca de 820 km de perfis geológicos sobre o maciço.
- f) *Reconhecimento de Campo:* Esta etapa, com duração de uma semana, teve como objetivo fornecer uma visão dos principais tipos litológicos encontrados no maciço, sua distribuição, modo de ocorrência, manto de intemperismo, coberturas sedimentares, floresta etc.

- g) *Integração Dados de Campo/Dados Fotogeológicos*: Foram correlacionados os dados levantados em campo com as informações extraídas das imagens.
- h) *Mapa Geológico do Maciço*: Foi elaborado o mapa geológico do maciço, a partir da integração final dos dados geológicos e das feições fotointerpretadas.

PARTE II - SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL APLICADO
À PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE GOIÁS

- . Características Gerais da Província Estanífera de Goiás
- . Maciço da Serra da Pedra Branca: Resultados e Discussões
- . Maciço da Serra do Mocambo: Resultados e Discussões
- . Maciço da Serra do Mendes: Resultados e Discussões
- . Síntese dos Resultados Obtidos em Outros Maciços da Província Estanífera de Goiás

CAPÍTULO 4

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE GOIÁS

4.1 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS: CLIMA E VEGETAÇÃO

A Província Estanífera de Goiás engloba os municípios de Nova Roma, Monte Alegre de Goiás, Cavalcante e Minaçu, na Região Centro Leste do estado, definida pelas seguintes coordenadas geográficas: $46^{\circ} 45' - 48^{\circ} 30'$ de Longitude Oeste, e $13^{\circ} 00' - 14^{\circ} 00'$ de Latitude Sul.

Na área predomina o clima semi-úmido com duas estações distintas: uma de chuvas, com pluviosidade média anual da ordem de 1.500 mm, distribuída entre outubro e março, com maior precipitação no meses de novembro, dezembro e janeiro; e outra seca, de maio a setembro. A primavera é a estação mais quente, com temperaturas médias em torno dos 35°C , caindo nos meses mais frios (junho e julho) para médias próximas a 25°C (Nimer, 1977a).

A vegetação predominante na região é o cerrado, com sua feição típica constituída por árvores baixas de troncos e galhos retorcidos, disseminadas em meio a arbustos e subarbustos e a um tapete de gramíneas. Apesar de possuírem raízes profundas que lhes permitem atingir o lençol freático, é comum as árvores e arbustos do cerrado perderem parte das folhas no período de estiagem. As gramíneas, no entanto, são as espécies que mais se ressentem com a ausência de água no solo, tornando-se secas nesse período, para brotarem viçosas logo às primeiras chuvas. (Santos et alii, 1977).

No topo das chapadas de topografia plana e alta surgem, às vezes, o "campo sujo" e o "campo limpo", em função de condições edáficas e hídricas locais. O primeiro, em geral adaptado a solos rasos e pobres, é caracterizado por árvores mais baixas e mais afastadas entre si que no cerrado. No segundo ocorre a predominância de gramíneas, com raros arbustos. Nas áreas de solos mais férteis e com maior umidade surge o cerra

dão, um estágio mais avançado do cerrado, com maior incidência de árvores de médio porte.

4.2 - QUADRO GEOLÓGICO REGIONAL

As unidades litoestratigráficas conhecidas na área da Província Estanífera de Goiás são mostradas na Figura 4.1. A unidade mais antiga conhecida na região constitui o que Almeida (1967) denominou de *Complexo Basal Goiano*, de idade arqueana, representado por terrenos granito-gnâissicos, predominando os tipos de composições granodiorítica e tonalítica, com freqüentes lentes de anfibolitos e quartzitos. Nesta unidade alojou-se o complexo granulítico de Cana Brava, representado por vários tipos de natureza básica-ultrabásica (Barbosa et alii, 1969; Milewski et alii, 1970; Girardi et alii, 1978; Danni et alii, 1982).

No Proterozóico Inferior deu-se a implantação de formações supracrustais de natureza vulcano-sedimentar e sedimentar. Estas são representadas, respectivamente, pela formação Palmeirópolis (Ribeiro Filho e Teixeira, 1981), constituída predominantemente por anfibolitos, com gnaisses e quartzitos subordinados; e pelas formações Cachoeira das Éguas (Marini et alii, 1977) e Ticunzal (Marini et alii, 1978). A formação Cachoeira das Éguas é constituída de paragneisses com intercalações de quartzitos e mica-xistos grafitosos, enquanto na formação Ticunzal, hospedeira de mineralizações uraníferas na região, ocorrem mica-xistos grafitosos com intercalações de gnaisses e quartzitos.

No Proterozóico Médio a região foi palco da colocação de cerca de 20 intrusões graníticas, às quais associam-se pegmatitos e greisens mineralizados a Sn, Ta-Nb, W, Be, F, etc.

Todo esse conjunto serviu de antepaís à evolução das faixas dobradas Uruçuana e Brasiliana. A primeira representada por metassedimentos pelíticos a psamíticos, dobrados e metamorfisados até a fácies anfibolito, entre 1.300 e 1.000 m.a. Esta unidade geotectônica englobaria na área de estudo, segundo Marini et alii (1981), os grupos Serra da Mesa

(Marini et alii, 1977) e Araç (Barbosa et alii, 1969). A Faixa Brasiliana, predominantemente pelito-carbonática, evoluída em condições miogeossinclinais, foi deformada e metamorfisada em fãcies xistos-verdes, hã cerca de 600 m.a. Ela ẽ representada pelas formações Paraopeba (Braun, 1968) e Minaçu (Marini e Fuck, 1981), constituintes do Grupo Bambuí na ẽrea.

4.3 - CORPOS GRANÍTICOS MINERALIZADOS

4.3.1 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MACIÇOS

As primeiras referências aos corpos graníticos da Província Estanífera de Goiás devem-se a Barbosa et alii (1969), que referem-se, no entanto, apenas aos maciços que ocorrem no vale do rio Maranhão, e que constituem as serras Dourada, da Mesa, do Encosto e Serra Branca. Os corpos graníticos do vale do rio Paranã não foram individualizados pelo *Projeto Brasília*, tendo sido colocados como pertencentes ao Embasamento. Esses corpos constituem as serras da Pedra Branca, do Macambo, do Mendes, do Passa-e-Fica, do Sucuri e da Soledade, feições morfológicas muito destacadas, com desníveis topográficos às vezes superiores a 500 metros em relação à cota das encaixantes regionais.

Os corpos graníticos da região do rio Maranhão foram classificados por Marini et alii (1977) como ortognaisses, face à intensa foliação cataclástica e à presença de xenólitos de xistos grafitosos, sempre mais marcantes nas proximidades das bordas dos maciços. Mais para o centro das grandes estruturas braquianticlinais eles se tornam mais homogêneos, com textura equigranular média a grosseira, frequentemente cortados por aplitos, pegmatitos e faixas greisenizadas.

Na Subprovíncia do Rio Paranã os corpos graníticos são mais circunscritos, predominando os tipos de coloração rósea com texturas granulares médias, ou localmente porfiríticas. Apesar de variações locais, é grande a homogeneidade litológica entre eles, em geral constituídos por um corpo maior de biotita-granito, ocorrendo subordinadamente riolitos, microgranitos, aplitos, granitos pegmatóides e granófiros. Estes granitos mostram fácies de alteração pneumatolítica-hidrotermal, que vão desde granitos levemente greisenizados (biotita-moscovita-granitos), até greisens típicos.

A presença de foliação concordante com o padrão regional, aliada ao desenvolvimento de zonas cataclásticas nos contatos por falha

com as encaixantes, e a ausência de evidências claras de metamorfismo de contato levam à suposição de que esses maciços, inicialmente intrusivos no Complexo Basal e/ou nas Formações Ticunzal e Cachoeira das Éguas, teriam sido remobilizados através de movimentos ascensionais, por efeito de antigos falhamentos reativados no Brasiliano. Estes os teriam colocado em suas posições atuais, deformando sequências mais novas ou em contato tectônico com elas.

As datações geocronológicas disponíveis são ainda muito pouco conclusivas quanto ao posicionamento desses corpos graníticos no quadro geotectônico regional. Reis Neto (1980) indica valores isocronicos de 1.450 m.a. e de 1.170 m.a., respectivamente, para os maciços das Serras Dourada e do Encosto. Na Subprovíncia do Rio Paranã, esse autor estabeleceu uma isocrona de referência de 1.600 m.a. englobando os maciços das Serras da Pedra Branca, Sucuri e Soledade. Valor próximo a este foi também encontrado por Hasui et alii (1980) em isocrona de referência englobando granitos daquela região. À luz dos dados atuais admite-se a época de formação desses corpos em torno desses dois últimos valores.

4.3.2 - MINERALIZAÇÕES

As primeiras referências à ocorrência de cassiterita nessa região de Goiás devem-se a Barbosa et alii (1969) que relatam sua existência em concentrados de bateia, ao longo do rio Sucuri. As primeiras descobertas com real significado econômico, no entanto, só vieram a ocorrer em 1973, no granito da Serra Branca (Marques et alii, 1973). A partir de então novas áreas foram sendo seguidamente descobertas. Os depósitos hoje conhecidos são superiores a 40 (Tabela 4.1). À exceção de algumas poucas áreas onde já se chegou a razoável grau de detalhamento, o conhecimento geológico sobre as mineralizações estaníferas em Goiás é ainda rudimentar. Todos os depósitos conhecidos são explorados por garimpeiros que trabalham apenas as partes mais superficiais desses depósitos.

Os depósitos de cassiterita mais importantes até agora conhecidos em Goiás encontram-se no maciço da Serra Branca, município de

Cavalcante (Andrade e Danni, 1978). Os fenômenos metassomáticos ocorridos nesse maciço desenvolveram várias fácies de greisens mineralizadas a Sn e subordinadamente a Be, Cu e F.

Outras mineralizações importantes de cassiterita naquela região ocorrem no maciço da Serra da Pedra Branca, município de Nova Roma. Nessa área, as mineralizações estão associadas a moscovita-granitos albitizados, onde o minério ocorre disseminado, e a diferentes fácies de greisens (Padilha e Laguna, 1981).

No batólito da Serra Dourada, mineralizações de cassiterita, wolframita e columbita-tantalita estão associadas a pegmatitos e a granitos albitizados/greisenizados, ocorrendo os principais depósitos na região de Pêla-Ema (Bettencourt et alii, 1981).

Fora dos corpos graníticos maiores, ocorrem importantes depósitos de Sn/Nb-Ta na região de Monte Alegre de Goiás. Eles estão estruturalmente condicionados a uma faixa relativamente estreita, orientada segundo N20E, balizada pelos garimpos do Riacho dos Cavalos (1) e do Atalaia (8), como indicado pela Figura 4.1. As mineralizações nessa faixa estão em geral controladas por um complexo sistema de diques (*sills* ?) de aplitos/pegmatitos e de moscovita-granitos, situados preferencialmente na zona de contato entre xistos grafitosos (formação Ticunzal ?) e rochas granito-gnáissicas regionais, constituindo-se como os principais depósitos aqueles do sistema Xupê (3) - Grotão (4) e da Ingazeira (10) (Araújo e Alves, 1979; Taylor, 1980; Bettencourt et alii, 1981).

TABELA 4.1

CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS MINERALIZAÇÕES
NA PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE GOIÁS.

GARIMPOS	Nº	POCHA HOSPEDEIRA	ASSEMBLEIA MINERALÓGICA	ENCAIXANTES	
Areias	24	Granit., Greisenizado	Sn	Batólito da Serra Dourada	
Buriti	26	Veios, Greisens	Sn, F, Be, Sulf.		
Mergulhão	23	Granit., Greisenizado	Sn		
Tatu-Pique	25	Granit., Greisenizado	Sn, W, Nb-Ta		
Japão	27	Granit., Greisenizado	Sn		
Chapeu	28	Granit., Greisenizado	Sn		
Granada		Granit., Greisenizado	Sn		
Cruzeiro	29	Granit., Pegmatitos	Sn		
Mocambinho	30	Granit., Pegmatitos	Sn/Nb-Ta		
Leonardo		Granit., Pegmatitos	Sn		
Serra Branca	19	Granit., Greisens	Sn, F, Be, Cu	Granito da Sa. Branca	
Arapuã		Pegmatitos	Sn		
Três Morros		Pegmatitos	Sn		
Brejão		Pegmatitos	Sn/Nb-Ta		
Cachorro		Granito	Sn		
Manchão Vermelho	20	Granit., Pegmatitos	Nb-Ta/Sn	Granito da Serra da Mesa	
Rajado	21	Granit., Pegmatitos	Sn/Nb-Ta		
Buriti	22	Granit., Pegmatitos	Sn/Nb-Ta		
Luzimar (Placha)	11	Granit., Greisens	Sn, F	Granito da Serra da Pedra Branca	
Baianos		Granit., Greisens	Sn, Sulf		
Bacia		Granit., Albitizado	Sn		
Alto Mocambo	9	Greisens	Sn, Sulf	Gr. Mocambo Gr. P-Fica Gr. Sucuri	
Passa-e-Fica	18	Veios, Granitos	Sn, Be, Sulf		
Cachorro	13	Greisens, Granit.	Sn		
Riacho dos Cavalos	1	Pegmat., Aplitos	Sn/Nb-Ta	Embasamento (Formação Ticonzal ?)	
Cabeça do Riacho	2	Pegmatitos	Sn		
Xupé	3	Pegmat., Aplitos	Sn/Nb-Ta, Be		
Grotão	4	Pegmatitos	Sn/Nb-Ta		
Xinguzinho	5	Pegmatitos	Sn/Nb-Ta		
Barro Preto	6	Pegmatitos	Nb-Ta		
Morro Redondo	7	Pegmatitos	Sn		
Atalaia	8	Pegmatitos	Sn		
Bacupari		Pegmatitos	Sn		
Barrocão		Pegmatitos	Sn/Nb-Ta		
Mutuca		Pegmatitos	Sn		
Sapato		Pegmatitos	Sn		
Y. Redonda		Pegmatitos	Bb-Ta		
Bezerra		16	Pegmatitos		Sn
Ingazeiro		10	Veios, Aplitos, Xistos		Sn
Arapuã	12	Greisens	Sn		
Escondido	17	Veios, Granit., Xistos	Sn/Nb-Ta, Sulf		
Pelotas	15	Pegmatitos	Sn		

Os números correspondem à localização dos garimpos na figura 4.1.

FONTE: Adaptada de Bettencourt et alii (1981).

CAPÍTULO 5

MACIÇO DA SERRA DA PEDRA BRANCA: RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A serra da Pedra Branca localiza-se no município de Nova Roma, a aproximadamente 40 km a noroeste daquela cidade. O acesso à área é feito através de estradas transitáveis somente por veículos com tração, tanto a partir da cidade de Nova Roma, quanto a partir de um ramal da rodovia GO-118. O maciço é cortado em seu interior por estradas que levam às áreas de mineração.

5.2 - TOPOGRAFIA E RELAÇÕES DE CONTATO

O maciço tem forma dômica, com eixo maior da ordem de 12 km orientado segundo N30W e eixo menor em torno de 8 km. Ele constitui marcante feição topográfica com desnível às vezes superior a 500 metros, em relação à cota média regional. Sua drenagem é radial centrífuga, com os córregos da parte norte e oeste desaguando diretamente no rio Paranã, enquanto os demais correm para o rio Areias, também afluente do Paranã.

O maciço granítico da Serra da Pedra Branca está encaixado em gnaisses e migmatitos do Complexo Basal. Não se observam evidências claras de metamorfismo térmico nas zonas de contato, sendo comum nos contatos por falha amplo desenvolvimento cataclástico. Ao longo de quase toda sua borda leste, o maciço está em contato também com rochas metassedimentares do grupo Araí. Embora esses contatos sejam seguramente de natureza tectônica, eles não são claramente observados em campo, devido à grande quantidade de material coluvionar que ocorre na área.

5.3 - ASPECTOS GEOLÓGICOS GERAIS DO MACIÇO

O maciço da Serra da Pedra Branca (Figura 5.1) é um dos mais bem estudados na Província Estanífera de Goiás, fruto de vários

anos de pesquisas desenvolvidas pela DOCEGEO. Parte dos resultados desses trabalhos foram sumariados por Padilha e Laguna (1981).

O maciço é constituído por um corpo maior de biotita-granita de coloração rosa a cinza-claro, textura granular média a grosseira, localmente porfirítica. Ao microscópio o feldspato-K microclínio apresenta-se euédrico a subédrico, podendo englobar cristais de plagioclásio e biotita. O plagioclásio é o oligoclásio, maclado segundo as leis da Albita e Albita-Carlsbad, ocorrendo tanto como fenocristais como componente da matriz. O quartzo é anédrico e a biotita é fortemente pleocrônica. Como acessórios ocorrem fluorita, clorita, zircão, epidoto e apatita.

Essas rochas sofreram intensas transformações pós-magmáticas de natureza pneumatolítica-hidrotermal, as quais propiciaram o surgimento de várias fácies tardi-diferenciadas. Estas variam desde granitos levemente greisenizados (moscovita-biotita-granitos) até greisens típicos de composição mica-quartzo. Três áreas de ocorrências desses metassomatitos destacam-se no maciço: A Bacia, a área Placha e o Manchão dos Baianos.

A Bacia, uma depressão grosseiramente orientada segundo a direção norte-sul com eixos maiores de 4 km x 2 km, é caracterizado pela ocorrência de moscovita-granitos albitizados. Estes são rochas de coloração cinza-esbranquiçado a cinza-esverdeado, de granulação média a fina e textura gnáissica, às vezes cataclástica. Nela destacam-se o quartzo e o feldspato, imersos em matriz formada por micas de tonalidades verdes. Ao microscópio a rocha exibe textura cataclástica fluidal, com deformação na maior parte dos minerais, sendo escassa a presença de cristais euédricos. Ela é composta essencialmente por quartzo, feldspato-K, moscovita e plagioclásio, tendo como acessórios frequentes fluorita, topázio, zirconita e cassiterita. O quartzo e os feldspato (microclínio e plagioclásio) ocorrem como porfiroblastos, imersos em matriz fina, orientada, formada por mica e por aqueles minerais. O quartzo mostra forte extinção ondulante, fraturamento e tritramento. O microclínio é fortemente pertítico, sendo frequente sua substituição por albita. Quando fratu

rado essas fraturas estão frequentemente preenchidas por moscovita, quartzo ou fluorita. A moscovita ocorre em lamelas definindo a textura da rocha. O plagioclásio precoce é o oligoclásio, formando em geral cristais deformados, exibindo encurvamento, fraturamento e trituração, sendo frequentemente substituído por moscovita (Padilha e Laguna, 1981).

A área Placha e o Manchão dos Baianos, a sudeste da Bacia, são áreas típicas de ocorrências de greisens. Estes formam lentes de dimensões variadas, encaixadas em moscovita-granitos e/ou biotita-granitos, orientadas segundo N30E na Faixa Placha e N60W no Manchão dos Baianos. As fácies de greisens mais comuns são aquelas de composição mica-quartzo, formando uma rocha de cor branco-esverdeado, inequigranular, de textura lepidoblástica a granolopidoblástica. A rocha é constituída predominantemente por quartzo que ocorre tanto em cristais xenomórficos quanto formando uma massa fina, cataclástica, juntamente com moscovita. Fluorita quando presente ocorre em cristais branco-azulados, enquanto cassiterita forma pontuações de cor castanha na matriz da rocha. Pirita, calcopirita, arsenopirita e covelina às vezes são frequentes (Padilha e Laguna, 1981).

Três sistemas de falhamentos orientados segundo N30-60E, N30-60W e NNE desenvolveram extenso cataclasamento no maciço, afetando todos os tipos e desenvolvendo milonitos e cataclasitos diversos (Padilha e Laguna, 1981). Estes são muito semelhantes aos greisens e aos moscovita-granitos, também afetados pela tectônica, sendo muito difícil a distinção entre eles, às vezes só possível através de lâminas petrográficas.

As mineralizações primárias mais importantes conhecidas no maciço são aquelas da área Placha. Neste local foi cubada uma reserva de 11.000 ton de estanho, associada a um veio de greisen com 2,5 Km de comprimento, largura de 12 metros e continuidade em sub-superfície por 100 metros (Bettencourt et alii, 1981). Na Bacia, a cassiterita ocorre disseminada nos moscovita-granitos albitizados, mas pode também se concentrar em bolsões.

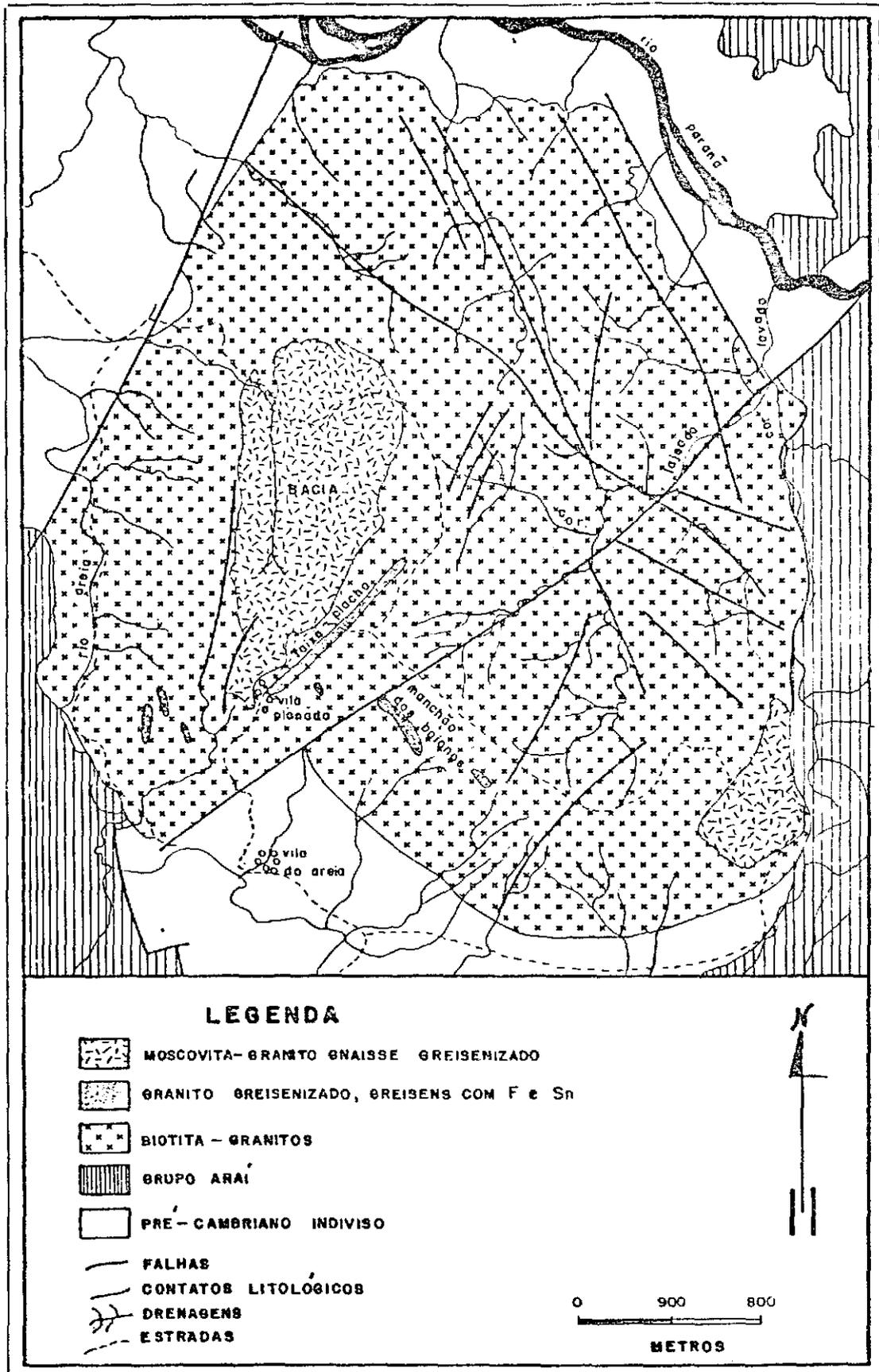


Fig. 5.1 - Mapa geológico do maciço da Serra da Pedra Branca.

FONTE: DOCEGEO (s.N.T., a)

5.4 - CARACTERÍSTICAS SUPERFICIAIS: PRODUTOS DE ALTERAÇÃO E COBERTURA VEGETAL

A evolução pedológica no maciço da Serra da Pedra Branca obedece em seus traços gerais estreita associação com as duas principais fácies de rochas graníticas que ocorrem no maciço. Assim, enquanto associados aos biotita-granitos ocorrem solos de coloração marron-escuro, relativamente mais espessos e mais ricos em nutrientes e matéria orgânica, associadas às fácies metassomaticamente alteradas a arenização é incipiente. Nesses locais ocorrem litossolos claros, rasos, com frequente exposição de rochas e com grande quantidade de blocos de quartzo em superfície.

A Tabela 5.1 mostra os resultados de análises químicas de amostras dos dois tipos de solos acima mencionados. As amostras A e B referem-se a solos desenvolvidos sobre biotita-granitos, enquanto as amostras C e D são oriundas dos solos desenvolvidos sobre moscovita-granitos. Os dados mostram que os solos derivados da alteração dos biotita-granitos são mais ricos em matéria orgânica, possuem maior somatória de bases trocáveis e maior capacidade de troca de cátions, que os solos derivados da alteração dos moscovita granitos albitizados/greisenizados.

O maciço da Serra da Pedra Branca mostra variações nítidas nas características de sua cobertura vegetal, as quais são controladas pela fertilidade dos solos desenvolvidos nas áreas de ocorrências de biotita-granitos e de moscovita-granitos. As feições da cobertura vegetal no maciço se manifestam como variações nas características do cerrado ou pela predominância de certas espécies melhor adaptadas às condições edáficas locais. Assim, em áreas de solos mais férteis, derivados da alteração de biotita-granitos, o cerrado é representado por sua feição típica: árvores baixas de troncos e galhos retorcidos e estrato inferior denso composto por arbustos e gramíneas. Por outro lado, nos locais de ocorrências de rochas albitizadas/greisenizadas, as árvores tornam-se mais esparsas e menos desenvolvidas, formando em geral coberturas típicas do tipo "campo-sujo". A Figura 5.2 mostra essa variação nas características do cerrado, facilmente observada na área da Bacia. Nos locais on

de os processos metassomáticos foram mais intensos os solos são consequentemente mais ácidos e a vegetação menos desenvolvida e mais especializada em certas espécies. Nesses locais predominam a "canela-de-ema" (*Vellozia flavicans*) e o capim "barba-de-bode" (*Aristida pallens*), como mostra a Figura 5.3. Esta associação geobotânica é específica das áreas de ocorrências de rochas graníticas albitizadas/greisenizadas no maciço da Serra da Pedra Branca.

TABELA 5.1

ALGUMAS CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DOS SOLOS DESENVOLVIDOS
EM ÁREAS DE OCORRÊNCIAS DE BIOTITA-GRANITOS E DE
MOSCOVITA-GRANITOS ALBITIZADOS/GREISENIZADOS

Amostra de Solo	Rocha-Mãe	pH (H ₂ O)	Matéria Orgânica %	Cátions		Trocáveis		Σ Bases	CTC
				Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺	Na ⁺		
				Meq 100g					
A	Biotita-Granitos	5,20	2,40	0,70	0,10	0,40	0,04	1,24	4,24
B		5,20	2,50	0,60	0,20	0,41	0,03	1,24	5,04
C	Moscovita-Granitos	5,30	0,30	0,10	0,00	0,10	0,03	0,23	1,43
D		5,10	0,30	0,10	0,00	0,09	0,05	0,24	1,44

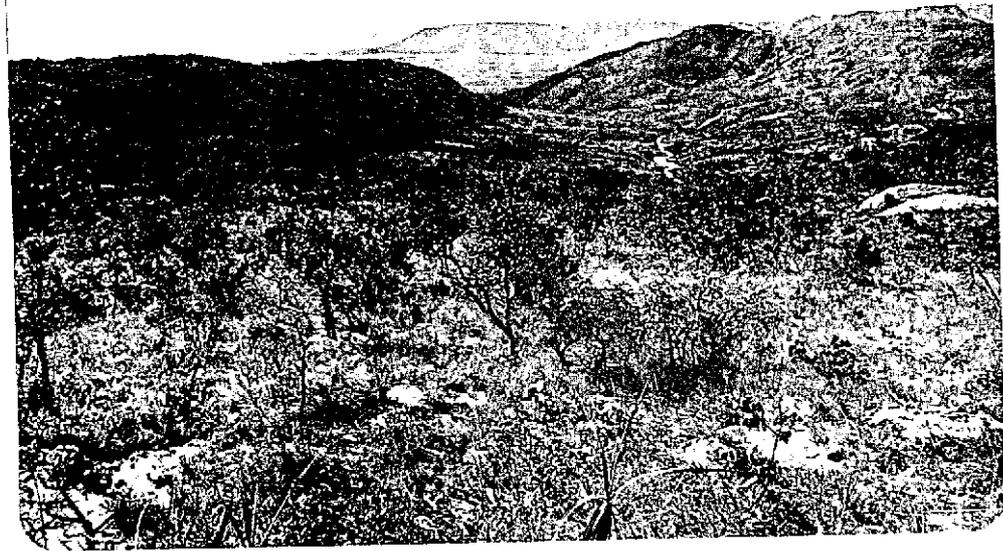


Fig. 5.2 - Vista parcial da Bacia

Em primeiro plano o cerrado ralo adaptado às áreas de moscovita-granitos, (MG) e ao fundo, à esquerda, vegetação mais densa desenvolvida nas áreas de biotita-granitos (BG)



Fig. 5.3 - Detalhe da cobertura vegetal nas áreas de mais intensa alteração metassomática.

Observar a grande quantidade de blocos de quartzo em superfície, os quais muito contribuem para a alta reflectância dessas áreas.

5.5 - ANÁLISE DOS DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

5.5.1 - ANÁLISE DAS IMAGENS DO CANAL 5 DO MSS

A análise das imagens do canal 5 baseou-se na premissa de que neste canal as áreas de ocorrência de moscovita-granitos apareceriam com tonalidades mais claras em relação às áreas de biotita-granitos. Isto se daria devido: (a) à maior reflectância dos tipos metassomaticamente alterados em relação às fácies mais ricas em biotita, e (b) ao menor desenvolvimento da cobertura vegetal nas áreas de ocorrências de moscovita-granitos; ambos os fatores contribuindo para uma resposta mais alta dessas áreas no canal 5.

A Figura 5.4 mostra o maciço da Serra da Pedra Branca, através do canal 5 do MSS-LANDSAT, na estação seca (inverno), realçado pela técnica do *Contrast Stretch*. A Figura 5.5 é o mapa temático desse canal obtido através do programa *Cluster Synthesis*. O tema correspondente às tonalidades mais claras, definido entre os níveis 27 e 40 (Símbolo 0), deve estar relacionado a áreas de maior reflectância e com cobertura vegetal menos desenvolvida possivelmente associadas à ocorrência de granitos metassomaticamente alterados. O tema representando tons de cinza mais escuros, definido no intervalo de 2 a 26 (Símbolo.), deve corresponder, por sua vez, à ocorrência de biotita-granitos, uma vez que estes suportam coberturas vegetais mais densas.

A análise conjunta das Figuras 5.4 e 5.5 mostra, no entanto, que a grande maioria das áreas de tonalidades claras indicadas não está refletindo as diferentes associações de rocha-solo-vegetação reconhecidas no interior do maciço granítico e, portanto, possuem pouco significado geológico/geobotânico. Pode-se observar que nem mesmo a extensa zona de moscovita-granitos albitizados que formam a Bacia foi individualizada claramente, confundindo-se com várias outras áreas. Pode-se observar que a maioria das áreas de tonalidades claras está associada às encostas topográficas voltadas para a direção de iluminação. Devido ao baixo ângulo de elevação solar sob o qual a imagem foi obtida (30°),

essas encostas topográficas recebem maior irradiância solar, e, em consequência, aparecerão com tonalidades mais claras, uma vez que a radiância (grandeza radiométrica medida pelo sensor) é diretamente proporcional à intensidade de iluminação solar (Equação 2.6, Figura 3.3).



Fig. 5.4 - Maciço da Serra da Pedra Branca, visto através da banda 5 do LANDSAT, na estação seca.

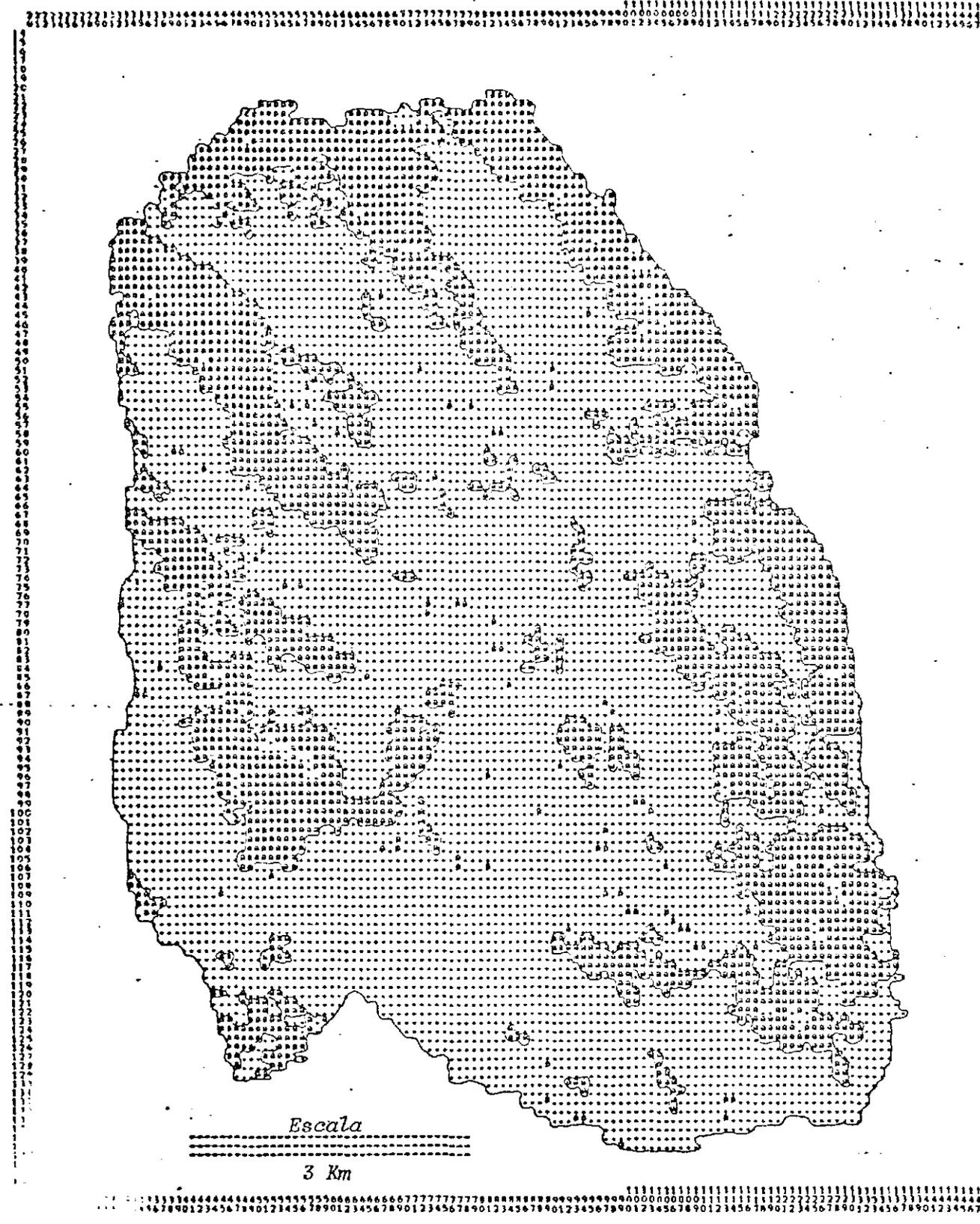


Fig. 5.5 - Mapa temático do maciço da Serra da Pedra Branca, a partir da imagem do canal 5 obtida na estação seca.

As áreas de tonalidades claras são indicadas pelo símbolo Θ.

Deduz-se, portanto, que as áreas com tons claros observadas na imagem do canal 5 obtido na estação seca representam tanto superfícies de alta reflectância (moscovita-granitos), quanto áreas de iluminação anômala (encostas topográficas), sendo impossível, a partir da resposta espectral, distingui-las entre si.

Além das condições não favoráveis de iluminação decorrentes do baixo ângulo de elevação solar, a fraca diferenciação das associações de rocha-solo-vegetação, na imagem da estação seca, decorre também do comportamento espectral sazonal da cobertura vegetal. Como as árvores do cerrado perdem parte de suas folhas e as gramíneas encontram-se secas nesta época do ano, a cobertura vegetal perde parte de sua capacidade de absorção da REM (essa absorção é controlada pela clorofila e atua em torno dos comprimentos de onda próximos a $0,65 \mu\text{m}$, o qual é englobado pela banda do canal 5 do MSS). Deste modo ficam sensivelmente diminuídas as relações de contraste entre áreas com diferentes índices de cobertura vegetal em imagens do canal 5 obtidas na estação seca.

Na estação de chuvas (verão) ocorre acentuada diferenciação no padrão de cobertura vegetal e nas condições de iluminação. A Figura 5.6 mostra o maciço da Serra da Pedra Branca através da banda 5 do MSS tomada nessa estação. A análise sucinta desse produto mostra, na borda oeste do maciço, uma área de tons de cinza claros, que correspondem aos moscovita-granitos albitizados que formam a Bacia. Outras áreas com tonalidades semelhantes são também observadas em outros pontos do maciço contrastando com os tons escuros associados a cobertura vegetal de maior porte desenvolvida em áreas de ocorrências de biotita-granitos.

A diferenciação tonal entre essas áreas ocorre em função do desenvolvimento diferenciado da cobertura vegetal adaptada às áreas de ocorrências de biotita-granitos e de moscovita-granitos, durante a estação de chuvas. Como os solos associados aos biotita-granitos são relativamente mais férteis, na estação de chuvas o cerrado desenvolve-se com

maior vigor nesses locais, especialmente as gramíneas que atingem seu máximo desenvolvimento, formando denso tapete cobrindo o solo. Por outro lado, a presença de água não altera significativamente o desenvolvimento da cobertura vegetal nas áreas de moscovita-granitos. A alta acidez dos solos nesses locais inibe o desenvolvimento da vegetação e mesmo as gramíneas, embora estejam verdes, continuam pouco desenvolvidas e esparsas. Esse contraste de comportamento da vegetação permite a diferenciação dessas áreas na imagem da estação de chuvas. A diferenciação é facilitada ainda devido ao ângulo de elevação solar mais alto nessa época do ano (46° neste caso), minimizando os efeitos de iluminação que tanto afetam as imagens obtidas no inverno.

A Figura 5.7 mostra o mapa temático de distribuição e quantificação das duas associações geobotânicas maiores, diferenciadas a partir da imagem do canal 5 correspondente à estação de chuvas. As áreas de biotita-granitos, mais escuras, ficaram definidas entre os níveis de cinza 2 e 21, enquanto os moscovita-granitos estão contidos no intervalo entre 22 e 35. As áreas de atividades de garimpeiros ("catas"), onde a vegetação foi parcialmente removida, possuem os níveis de cinza mais claros, compreendidos no intervalo entre 35 e 38.

Embora as condições de iluminação sejam mais favoráveis nessa época do ano, a Figura 5.7 ainda mostra algumas áreas de iluminação anômala na borda leste do maciço, as quais se confundem com a classe dos moscovita-granitos. Esses efeitos de iluminação só podem ser corrigidos através da técnica de divisão de canais (*ratio*), discutida na seção seguinte.



Fig. 5.6 - Maciço da Serra da Pedra Branca, visto através da banda 5 do LANDSAT, na estação de chuvas.

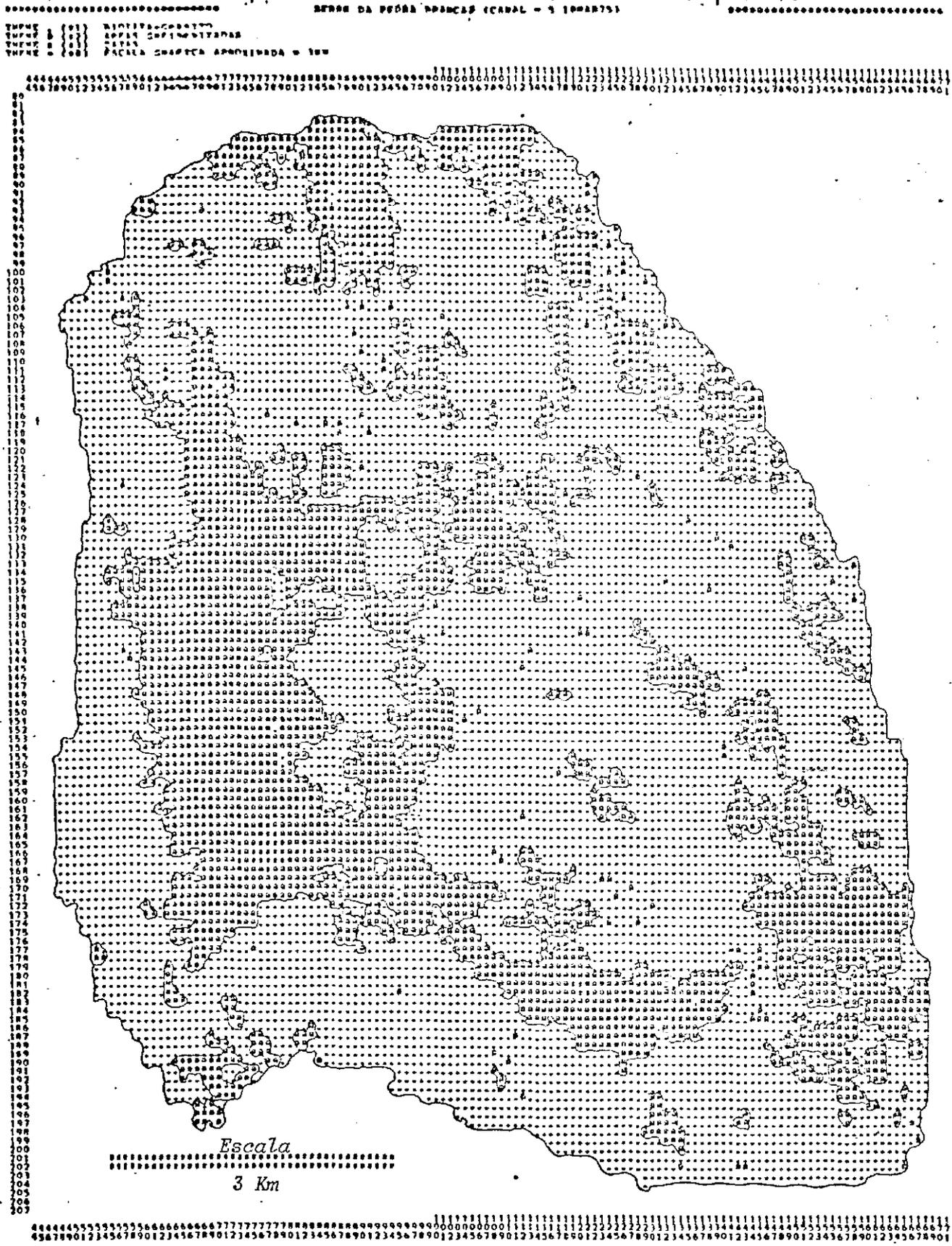


Fig. 5.7 - Mapa temático do maciço da Serra da Pedra Branca, a partir da imagem do canal 5 obtido na estação de chuvas.

As áreas de tonalidades claras são indicadas pelo símbolo 0.

5.5.2 - ANÁLISE DAS IMAGENS *RATIO*

As imagens *ratio* resultantes da divisão entre canais não-correlacionáveis, são capazes de assinalar variações sutis de densidade de cobertura vegetal do terreno, as quais podem representar associações geobotânicas (Lyon, 1975b; Raines et alii, 1978). A Figura 5.8 conceitua a técnica do *ratio* entre canais não-correlacionáveis. Ela mostra esquematicamente valores de radiâncias medidos pelos canais 5 e 7 do MSS, para quatro áreas hipotéticas, com diferentes índices de cobertura vegetal. Da divisão do canal 7 pelo canal 5 (multiplicando a razão por um *ganho* 10) resulta uma imagem $R_{7/5}$ na qual essas quatro áreas são facilmente discerníveis uma vez que mostram valores de cinza bastante distintos. A imagem $R_{7/5}$, além de realçar variações sutis na densidade de cobertura vegetal, minimiza paralelamente os efeitos de iluminação diferencial (ver Seção 3.3).

Optou-se pelo $R_{7/5}$ de imagens da estação de chuvas, época em que, como se viu, o desenvolvimento da cobertura vegetal é diferenciado para as áreas de biotita-granitos e de moscovita-granitos. A Figura 5.9 é o resultado da classificação através do programa *Cluster Synthesis* sobre a imagem resultante da divisão do canal 7 pelo canal 5. Esse produto definiu com clareza as áreas de moscovita-granitos dentro do maciço, compreendidas no intervalo de níveis de cinza entre 127 a 168, assinaladas na Figura 5.9 pelo símbolo Θ . Os biotita-granitos, de tonalidades mais claras na imagem $R_{7/5}$ por possuírem maior densidade de cobertura vegetal, foram definidos pelos níveis de cinza maiores que 168. Além de ressaltar as áreas de rochas greisenizadas dentro do maciço, a imagem *ratio* eliminou, paralelamente, as áreas de iluminação anômala, as quais eram confundidas com áreas de ocorrências de moscovita-granitos nas Figuras 5.5 e 5.7.

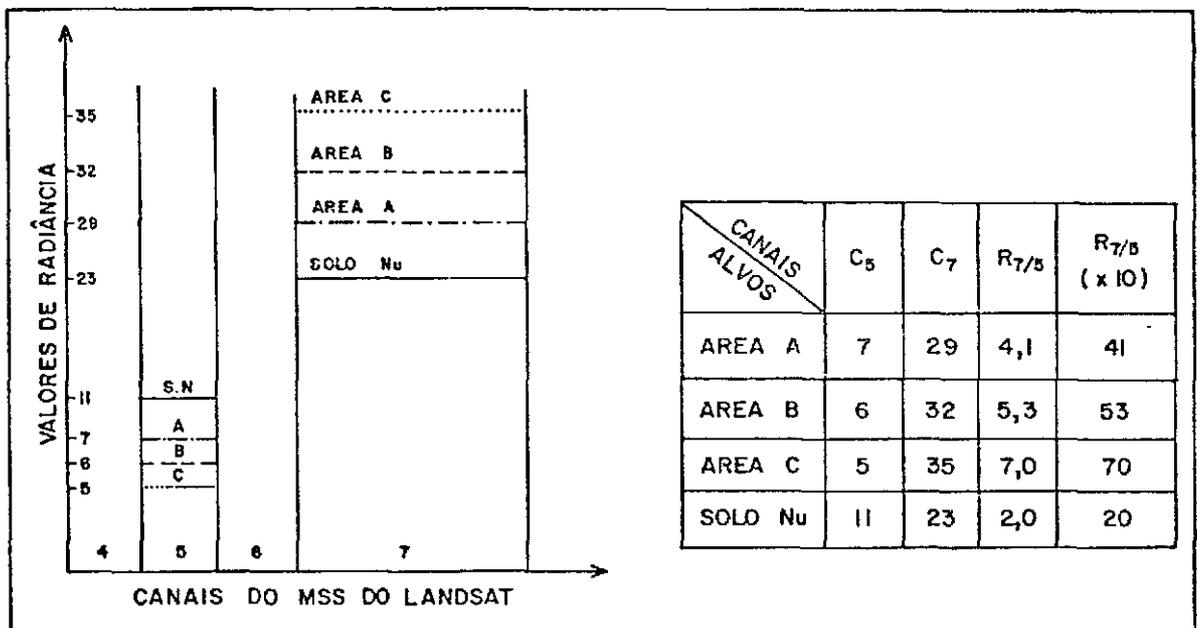


Fig. 5.8 - Conceituação do *Ratio* entre canais não correlacionáveis.

5.5.3 - IMAGENS RBV, FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS DE RADAR

a) Imagens RBV

A Figura 5.10 mostra uma imagem RBV do maciço Pedra Branca, obtida em junho de 1979. Embora este produto possua resolução espacial duas vezes maior que suas correspondentes MSS, ele não discrimina as áreas de moscovita-granitos no interior do maciço. Isto decorre pelo fato de as imagens RBV, a despeito de sua boa resolução espacial, possuem baixa resolução espectral. Elas coletam informações dentro de uma larga faixa de sensibilidade e não em intervalos espectrais específicos. As manchas claras observadas na imagem RBV são "catas" de garimpeiros, visíveis devido à remoção da cobertura vegetal nesses locais.

b) Fotografias Aéreas

As fotografias aéreas pancromáticas são, à semelhança das imagens RBV, pobres em resolução espectral, pois também gravam as informações dentro de uma ampla faixa de sensibilidade correspondente à radiação visível (0.4 a 0.7 μm). A Figura 5.11 mostra o maciço da Serra da Pedra Branca através de uma fotografia aérea pancromática, na escala original de 1:60.000. Do mesmo modo que a imagem RBV, ela não mostra variações tonais específicas que possam ser associadas às áreas de greisenização. A fotografia aérea é, no entanto, um sistema sensor de alta resolução espacial e, assim, mostra com riqueza de detalhes a distribuição dos elementos da paisagem (topografia, drenagens, etc). Os moscovita-granitos que formam a Bacia são facilmente indentificados como uma unidade fotogeológica dentro do maciço, tanto pela sua morfologia tipo "cárie", quanto pela drenagem localmente anômala. A área Placha possui, por outro lado, características fotogeológicas totalmente distintas das da Bacia, embora do ponto de vista geológico essas duas áreas sejam muito semelhantes. Se fossem separadas apenas através de informações das fotografias aéreas, elas seriam indicadas como unidades fotogeológicas distintas. Na imagem, como se viu, apesar de essas duas áreas terem características

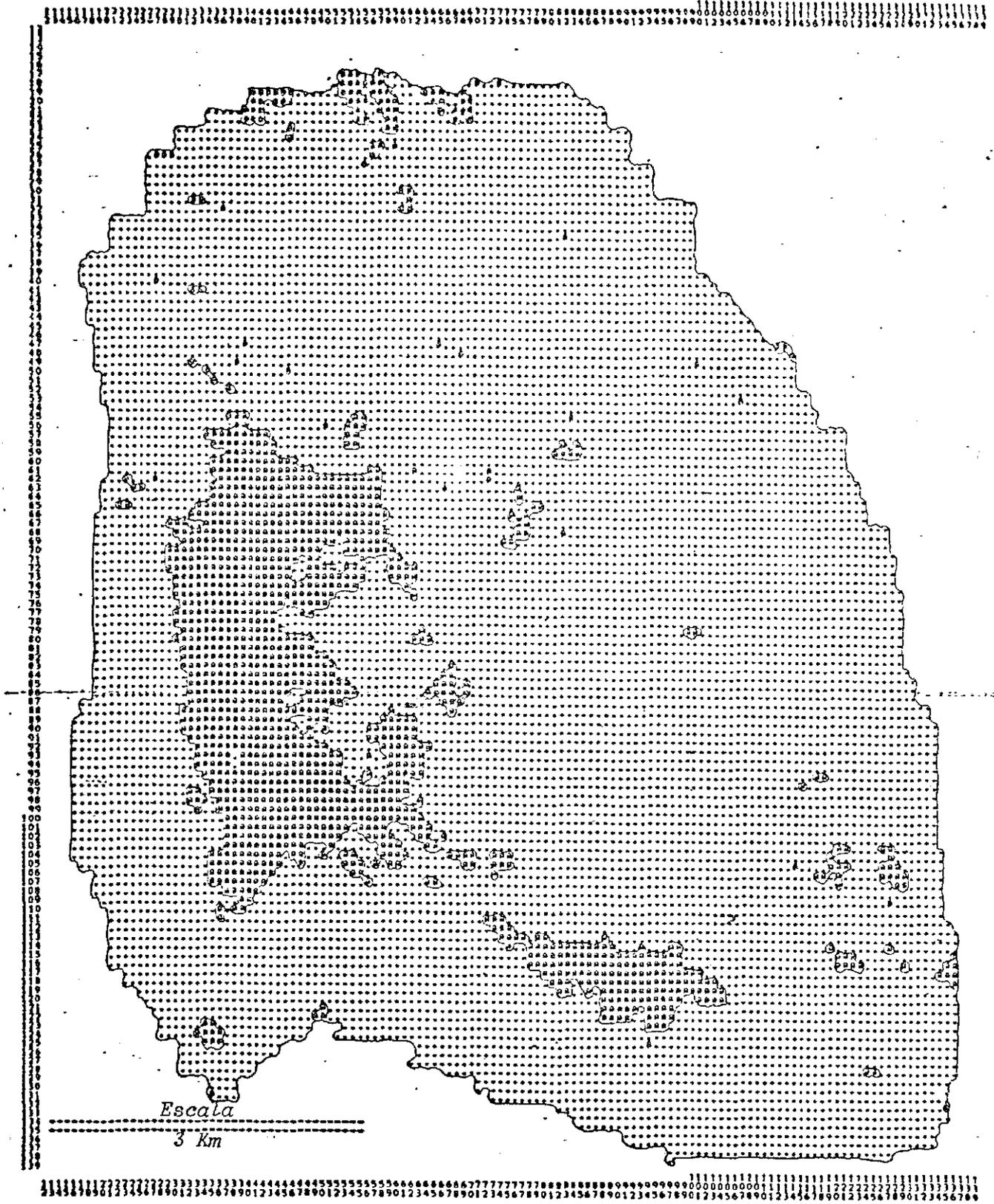


Fig. 5.9 - Mapa temático do maciço da Serra da Pedra Branca, a partir da imagem *Ratio* ($R_{7/5}$) na estação de chuvas.

As áreas greisenizadas são indicadas pelo símbolo Θ .

texturais distintas em fotografias aéreas, elas possuem comportamentos espectrais semelhantes, função de suas características geológicas semelhantes. A área de ocorrência de moscovita-granitos na borda sudeste do maciço, indicada na imagem *ratio*, não é identificada a partir da fotografia aérea.

c) - Imagens de RADAR

A Figura 5.12 mostra o maciço da Serra da Pedra Branca através da imagem de RADAR. Pode-se observar com fidelidade a morfologia do maciço, e a área da Bacia é claramente evidenciada. Não existe na imagem de RADAR, no entanto, qualquer variação tonal que possa indicar as áreas de rochas metassomáticas conhecidas no corpo granítico. Isto decorre pelas razões discutidas na seção 3.1.2.



Fig. 5.10 - Imagem RBV do maciço da Serra da Pedra Branca.



Fig. 5.11 - Fotografia aérea do maciço da Serra da Pedra Branca.

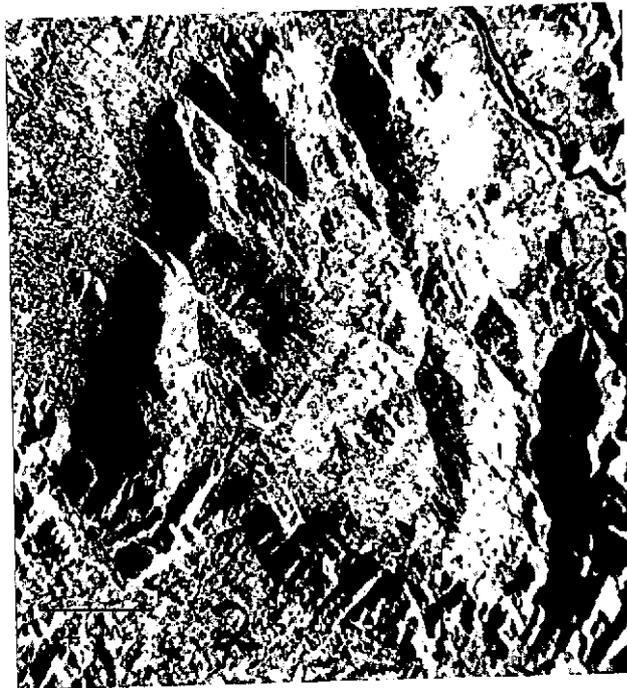


Fig. 5.12 - Imagem de RADAR do maciço da Serra da Pedra Branca.

5.6 - INTEGRAÇÃO FINAL COM OS DADOS DE CAMPO

A Figura 5.13 mostra a distribuição das áreas anômalas dentro de maciço da Serra da Pedra Branca, obtidas a partir da imagem *ratio* e sobrepostas como um tema à imagem da banda 7 do MSS.

A Área Anômala 1 corresponde à ocorrência dos moscovita-granitos albitizados/greisenizados que formam a Bacia, os quais foram descritos na seção 5.3, deste Capítulo. Comparando-a com o mapa geológico do maciço elaborado pela DOCEGEO (Figura 5.1) observa-se que os limites da borda leste da Bacia não são retilíneos. Esta diferença decorre do fato de que no mapa geológico estão incluídos também como pertencentes à Bacia os moscovita-biotita-granitos. Estes constituem termos intermediários normalmente ocorrentes na zona de transição entre o biotita-granito que forma o corpo principal do maciço e as fácies albitizadas/greisenizadas. A Bacia, como indicada pela imagem LANDSAT, inclui apenas estes últimos tipos, individualizados em relação às fácies contendo biotita.

As Áreas Anômalas 2 e 3 correspondem, respectivamente, à área Placha e ao Manchão dos Baianos, locais onde predomina a ocorrência de greisens mineralizados a cassiterita. A área Placha encerra as maiores reservas de Sn até agora conhecidas no maciço. Ela, juntamente com o Manchão dos Baianos e vários locais da Bacia, tem sido explorada por garimpeiros desde 1973.

A Área 4, no extremo sudoeste do maciço, já fora da estrutura dômica, caracteriza-se também pela ocorrência de rochas graníticas metassomáticas.

No outro extremo do maciço, na sua borda sudeste, a Área Anômala 5 corresponde à ocorrência de moscovita-granitos albitizados/greisenizados, mineralógica e texturalmente semelhantes aos tipos que formam a Bacia. Esta área, embora já conste no mapa da DOCEGEO, foi descoberta durante o desenvolvimento deste trabalho, a partir das indicações fornecidas pelas imagens de sensoriamento remoto orbital.



Fig. 5.13 - Indicação das áreas de rochas albitizadas/greisenizadas no maciço da Serra da Pedra Branca, a partir de imagens multiespectrais do LANDSAT.

A Área 6 mostra características superficiais semelhantes às demais áreas anômalas já discutidas. Seus solos são de cor clara, pobre em nutrientes, e com grande quantidade de blocos de quartzo em superfície, denotando atividade hidrotermal expressiva no local. A vegetação, em consequência, é bastante rala, formando "campos sujos". Os trabalhos de campo não constataram a existência de tipos metassomáticos de grande expressão nesse local. Na extremidade leste dessa área próximo já ao Manchão dos Baianos, trabalhos da DOCEGEO indicaram a existência de um corpo de greisen com dimensões da ordem de 200 x 100 m. Foi constatada ainda a ocorrência, em pequenos afloramentos dispersos, de uma rocha de tonalidade cinza-escuro, de estrutura maciça e alta densidade, destacando-se numa matriz muito fina, micácea, levemente orientada, cristais de feldspato. Ao microscópio a rocha mostra-se formada essencialmente por mica branca (provavelmente moscovita) de granulação muito fina, à qual se associa grande quantidade de opacos (hematita?), que ocorrem sob a forma de pequenos prismas entrecruzados. Feldspato e quartzo ocorrem em agregados irregulares. Raros grãos de cassiterita (a identificação desse mineral é dificultada pela alteração) ocorrem dispersos em meio à massa micácea. A mineralogia acima permite classificá-la como um moscovita-granito greisenizado, com a seguinte composição modal (% de volume) visualmente estimada: mica branca 70%, opaco 25%, quartzo 5%.

As Áreas Anômalas 7 e 8 ocorrem ao longo de zonas de grandes falhamentos que cortam o maciço, orientados para NW. Nesses locais predomina uma rocha granítica leucocrática, de estrutura maciça e textura cataclástica, onde predominam porfiroblastos de feldspato-K e "olhos" de quartzo imersos numa matriz fina constituída por esses minerais e por agregados de mica verde. Ao microscópio o feldspato-K microclínio apresenta-se pertítico e engloba grãos de quartzo. Este mineral forma agregados irregulares na matriz da rocha, mostrando feições que denotam a forte tensão a que ele foi submetido (extinção ondulante, contatos denteados, estiramento de cristais). Sericita muito fina ocorre formando faixas ou cortando o feldspato-K. Minerais opacos formam placas sugerindo substituição de um mineral preexistente, o qual possuía direção de

clivagem bem definida (biotita ?). Cristais diminutos e raros de cassiterita ocorrem dispersos na matriz da rocha. A composição modal (% de volume) visualmente estimada para este granito leucocrático é a seguinte: feldspato-k 45%, quartzo 25%, plagioclásio albítico 10%, sericita 15%, opacos 5%. A ausência de biotita na rocha e os solos claros dela derivados foram os parâmetros que permitiram a discriminação dessas áreas pelo sistema sensor e seu enquadramento na mesma classe espectral dos granitos greisenizados. Cabe lembrar que a semelhança dos granitos cataclásticos com o verdadeiros greisens, estes também cataclasados, é muito grande. A distinção entre eles só é possível às vezes através de lâmina petrográfica, pela presença de fluorita e/ou cassiterita nos tipos metassomáticos.

As demais áreas anômalas indicadas no interior do maciço da Serra da Pedra Branca, não numeradas na Figura 5.13, ocorrem ao longo de grandes falhamentos e devem, assim, possuir características litológicas semelhantes aos tipos descritos nas Áreas 7 e 8.

A existência de cristais de cassiterita constatados em lâminas de amostras das Áreas Anômalas 6, 7 e 8, as quais não são indicadas no mapa geológico do maciço elaborado pela DOCEGEO, sugere uma maior atenção a essas áreas, para melhor avaliação do seu real potencial mineral.

CAPÍTULO 6

MACIÇO DA SERRA DO MOCAMBO: RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O maciço da Serra do Mocambo localiza-se no município de Monte Alegre de Goiás, a aproximadamente 45 Km a sudoeste dessa cidade. O acesso à área é feito inicialmente pela rodovia GO-118 até a vila do Passa-e-Fica. A partir deste local toma-se uma variante secundária à esquerda, com aproximadamente 15 Km, transitável apenas por veículos com tração, a qual leva ao garimpo da Ingazeira, localizado no sopé da serra. A partir daí o acesso à área é feito através de caminhamento a pé, gastando-se cerca de 3 horas para se atingir o topo da serra.

6.2 - TOPOGRAFIA E RELAÇÕES DE CONTATO

A serra do Mocambo possui forma elíptica grosseira com eixo maior da ordem de 8 km, orientado segundo N25E, e eixo menor em torno de 6 Km. Ela constitui uma feição topográfica bastante destacada, com desnível máximo em torno de 500 metros em relação às encaixantes regionais (Figura 6.1). O entalhamento dos córregos Ingazeira e Monjolo, ambos controlados por falhamentos, e dos contribuintes do Mocambo ao norte e do Santa Rita ao sul, criam quebras topográficas internas com até 250 m.

À exceção de sua borda leste onde se encontra em contato tectônico com rochas mais novas do grupo Araí, o maciço da Serra do Mocambo está encaixado em xistos, gnaisses e migmatitos do Complexo Basal Goiano e/ou da formação Ticunzal. Nas zonas de contato é comum o desenvolvimento de cataclasitos, não se notando evidências de metamorfismo térmico.

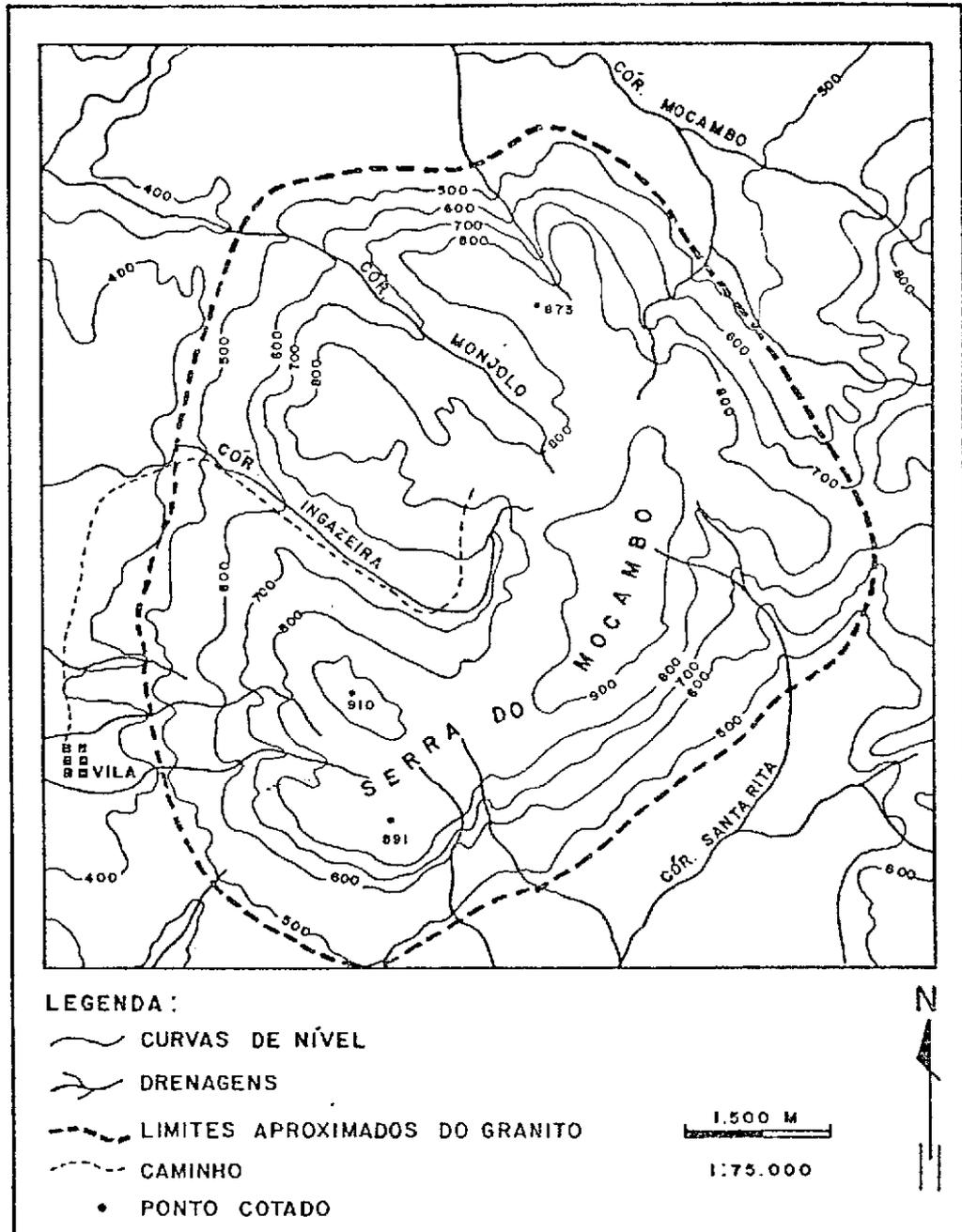


Fig. 6.1 - Mapa topográfico do maciço da Serra do Mocambo.

FONTE: adaptado de BRASIL. MEX/DSG (1976a,1976b).

6.3 - ASPECTOS GEOLÓGICOS GERAIS DO MACIÇO

De todos os maciços da Província Estanífera de Goiás, o da Serra do Mocambo é um dos menos conhecidos. Ele é constituído por rochas de coloração rósea, textura granular hipidiomórfica grosseira, destacando-se o feldspato-K em cristais euédricos a subédricos, o quartzo e agregados de biotita. Ao microscópio o feldspato-K é fortemente pertítico, o plagioclásio é albita-oligoclásio, por vezes sericitizado, e comumente com intercrescimentos antipertíticos. O quartzo apresenta-se em cristais xenomórficos e frequentemente com extinção ondulante, enquanto a biotita, fortemente pleocrônica, ocorre em lamelas. São frequentes como acessórios a allanita, o epidoto, o zircão e a fluorita, além de opacos.

Embora estejam muito próximos um do outro, são diferentes os padrões tectônicos predominantes nos maciços da Pedra Branca e do Mocambo. O padrão NNE que condiciona os moscovita-granitos albitizados e greisenizados da Bacia e da Faixa Placha, além dos pegmatitos que ocorrem na região de Monte Alegre de Goiás, não é evidente no maciço da Serra do Mocambo. Neste os falhamentos mais importantes são para NW, predominando o padrão orientado segundo N50W, semelhante ao sistema observado no Manchão dos Baianos, no Pedra Branca.

Em meados de 1981 garimpeiros descobriram cassiterita no interflúvio dos córregos Ingaziera e Monjolo. Embora o minério seja de muito boa qualidade, o garimpo não tem evoluído devido a problemas de falta de água, que impedem a lavagem do material eluvionar ("casqueiro") concentrador da cassiterita.

6.4 - ANÁLISE DOS DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

6.4.1 - ANÁLISE DAS IMAGENS DO CANAL 5 DO MSS

As Figuras 6.2 e 6.3 mostram os mapas temáticos extraídos, respectivamente, das imagens do canal 5 tomadas na estação seca e na estação de chuvas. As áreas correspondentes aos biotita-granitos são caracterizadas em ambos os produtos por apresentarem tons de cinza mais escuros,

definidos entre os níveis 2 e 25, e 10 e 26, nas figuras citadas. Estes valores são muito próximos àqueles encontrados para os biotita-granitos do maciço da Serra da Pedra Branca, discutido no Capítulo anterior.

A classe de tons de cinza mais claros que, consequentemente, poderia corresponder a áreas de ocorrências de granitos greisenizados foi definida nas Figuras 6.2 e 6.3, respectivamente, entre os níveis 26 e 33, 27 e 36. Estes valores são próximos àqueles que definiram as áreas de moscovita-granitos no maciço da Serra da Pedra Branca.

Comparando as áreas anômalas indicadas nas Figuras 6.2 e 6.3 nota-se que algumas delas são coincidentes na imagem da estação seca e da estação de chuvas. Outras não possuem correspondências e neste caso podem ser resultantes de condições de iluminação. Uma melhor caracterização e confirmação da natureza anômala dessas áreas pode ser feita mais seguramente através das imagens *ratio*.

TITULO (11) (10-74) - BOTAFOVA-GRANITO
 TITULO 8 (12) (21-32) - ATIVAS DE APROXIMAZAO
 TITULO 6 (13) (11-34) - ATIVAS DE CRIABILIZACAO
 TITULO 4 (14) ESCALA GRAFICA 1:3000

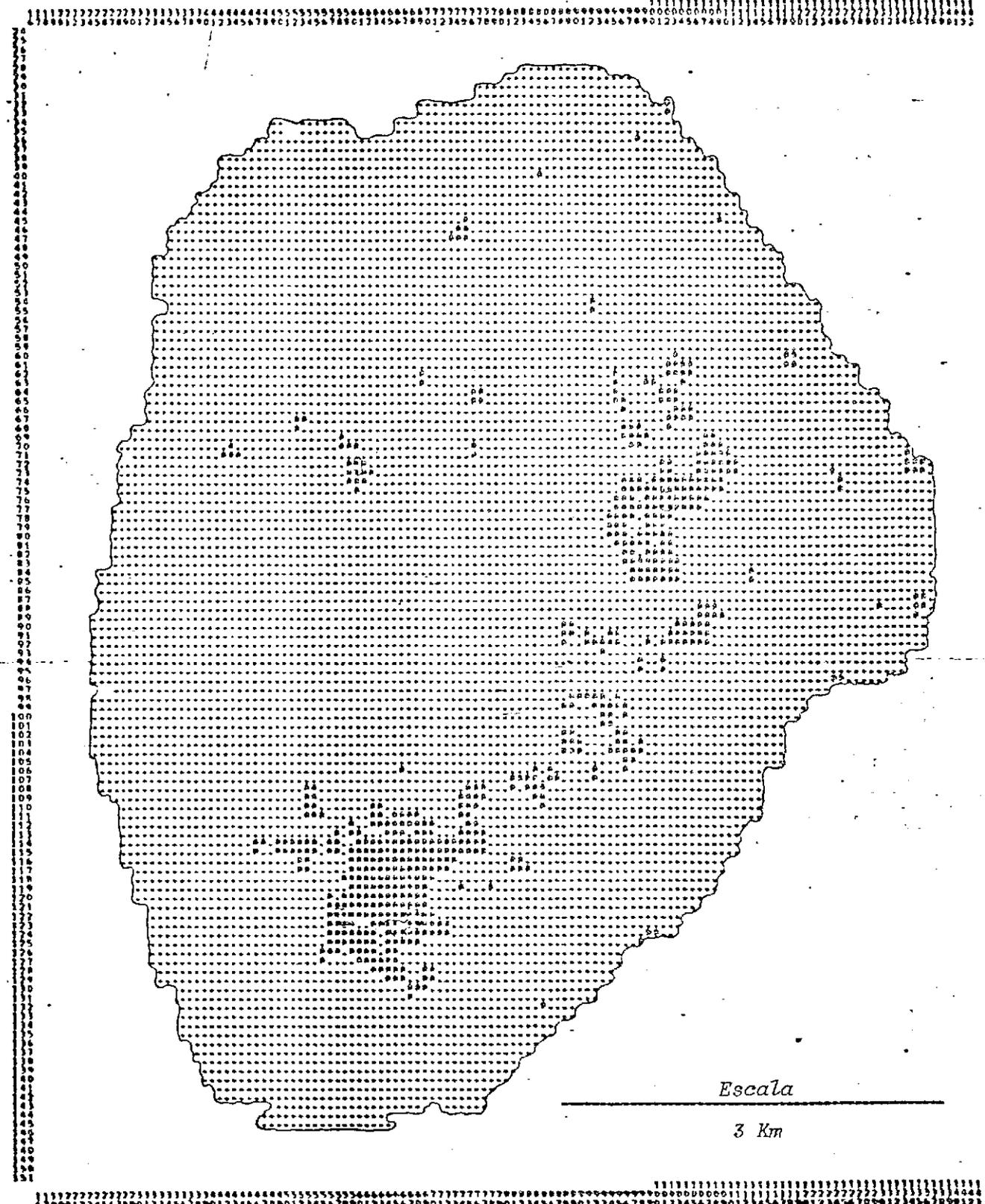


Fig. 6.3 - Mapa temático do maciço da Serra do Mocambo, a partir da imagem do canal 5 obtido na estação de chuvas.

6.4.2 - ANÁLISE DAS IMAGENS *RATIO*

Analisou-se a imagem $R_{7/5}$ da estação de chuvas na suposição de que, de modo semelhante ao que ocorre no maciço da Serra da Pedra Branca, nessa época do ano verifica-se uma melhor diferenciação na cobertura vegetal associada às áreas de biotita-granitos e de moscovita-granitos. Além disto as condições de iluminação são também mais favoráveis nessa época do ano.

A Figura 6.4 obtida a partir do $R_{7/5}$ quantifica os níveis de cinza e mostra com mais precisão as áreas anômalas dentro do maciço da Serra do Mocambo, definidas no intervalo compreendido entre os níveis 133 e 150. A indicação dessas áreas através da imagem *ratio* caracteriza-as como alvos geobotanicamente anômalos, possivelmente ligados à ocorrência de rochas greisenizadas.

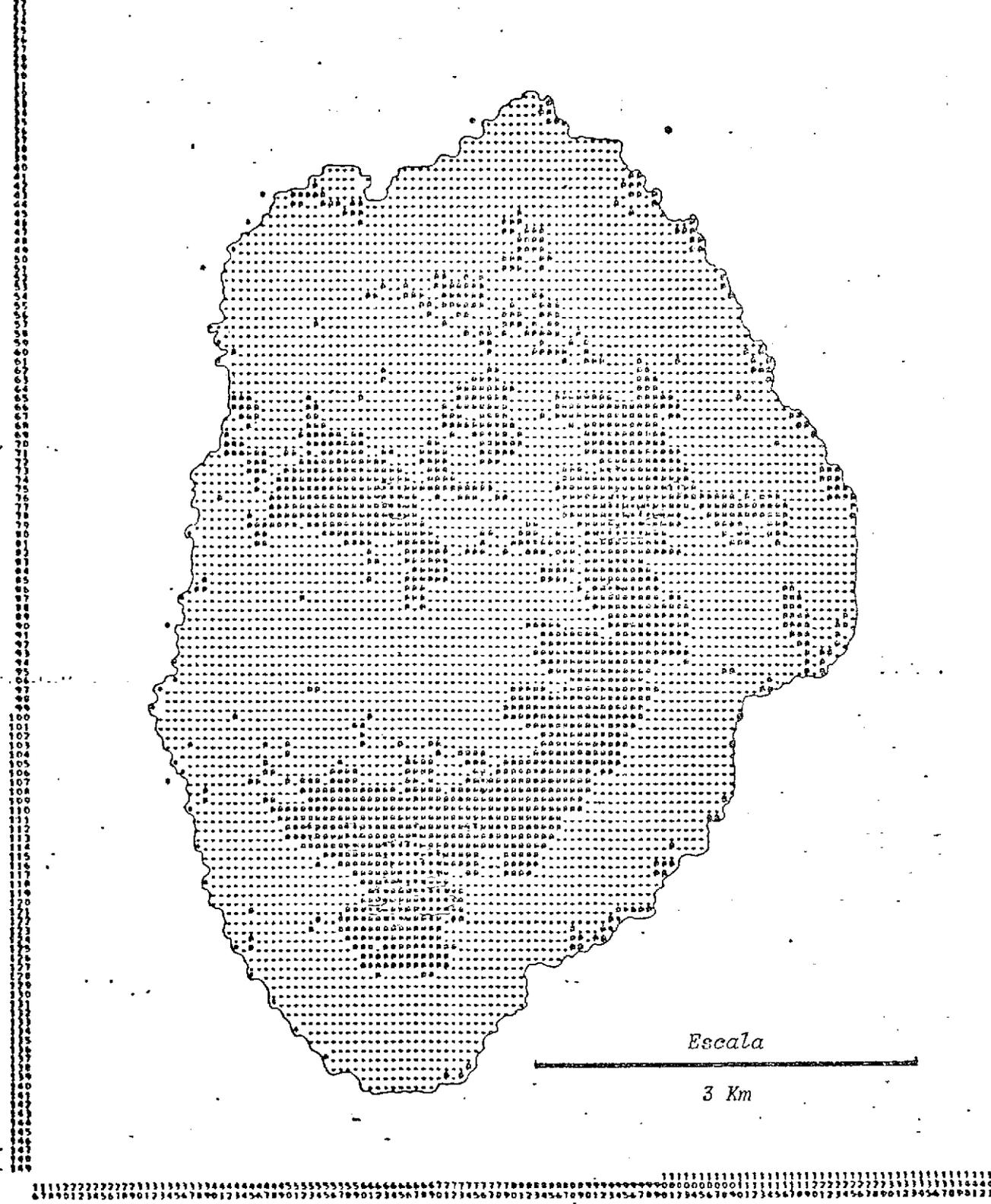


Fig. 6.4 - Mapa temático do maciço da Serra do Mocambo, a partir da imagem *ratio* (R_{7/5}) na estação de chuvas.
 As áreas de greisenização são indicadas pelo símbolo *.

6.4.3 - FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS DE RADAR

As Figuras 6.5 e 6.6 mostram o maciço da Serra do Mocambo, respectivamente, através de fotografia aérea e de imagem de RADAR. A imagem de RADAR, por razões já discutidas na seção 3.1.2, não assinala qualquer feição indicativa que possa ser associada às áreas anômalas indicadas na Figura 6.4.

A fotografia aérea mostra uma extensa área com tons claros e textura "lisa" que poderia, a primeira vista, ser associada à ocorrência de rochas graníticas submetidas a processos de argilização, os quais são comuns em áreas de metassomatismo. Todas as áreas anômalas indicadas na Figura 6.4 coincidem com as áreas de textura "lisa" observadas na fotografia aérea, embora a recíproca não seja verdadeira: nem todas as áreas de textura "lisa" vistas na fotografia aérea correspondem a áreas anômalas indicadas na imagem *ratio*.

Sobre o platô mais alto da serra do Mocambo os solos são rasos com frequente exposição de rochas, predominando naquele local os "campos limpos" e os "campos sujos". Eles formam as áreas de textura "lisa" observadas na fotografia aérea, as quais foram denominadas informalmente "áreas de argilização" nos mapas temáticos extraídos das imagens LANDSAT.



Fig. 6.5 - Fotografia aérea do maciço da Serra do Mocambo.



Fig. 6.6 - Imagem de RADAR do maciço da Serra do Mocambo.

6.5 - INTEGRAÇÃO FINAL COM OS DADOS DE CAMPO

A Figura 6.7 mostra o maciço da Serra do Mocambo através do canal 7 do MSS e sobreposto a ele as áreas anômalas indicadas a partir da imagem *ratio* discutida na seção 6.4.2. Foram indentificadas três áreas anômalas principais.

A Área Anômala número 1, no interflúvio dos córregos Inga zeira e Monjolo, possui características superficiais em tudo semelhantes às áreas de rochas greisenizadas do maciço da Serra da Pedra Branca. A cobertura vegetal no local reflete as condições severas de acidez do solo. O cerrado que ocorre normalmente nas áreas de biotita-granitos degrada para a variedade tipo "campo sujo", onde predominam as gramíneas, e são poucas as árvores maiores, como mostra a Figura 6.8. Em certos locais, também há semelhança do que ocorre no maciço da Serra da Pedra Branca, há a predominância absoluta da vegetação "canela-de-ema" (Figura 6.9). Em superfície é grande a quantidade de blocos de quartzo, os quais colaboram para a alta reflectância dessas áreas nos produtos de sensoriamento remoto.

Os trabalhos de campo constataram a ocorrência naquele local de greisens e albititos mineralizados a cassiterita, merecendo destaque entre eles as seguintes fácies:

Mica-quartzo greisen: É uma rocha de textura maciça, às vezes levemente orientada, coloração cinza-escuro, destacando-se grãos de quartzo de até 0,5 cm de diâmetro, imersos em matriz fina de natureza micácea. Ao microscópio o quartzo é granoblástico, frequentemente com extinção ondulante ou formando bandas quatzosas nas quais cristais menores que as micas ocorrem imbricados, sugerindo recristalização. A mica branca, com ângulo 2V negativo e pequeno, formando a massa fundamental da rocha, é a moscovita, ou mais provavelmente a zinnwaldita, Cassiterita, fluorita e opacos ocorrem disseminados na matriz. A composição modal (% de volume) visualmente estimada para esta fácies é a seguinte: quartzo 50%, mica branca 45%, cassiterita 3%, fluorita 1% e opacos 1%.

Topázio-mica greisen: É uma rocha de textura maciça, às vezes porosa, orientada, de tonalidade cinza-esverdeado, passando a tons avermelhados quando alterada. Ao microscópio destaca-se o topázio, imerso em matriz fina constituída por mica branca incolor ou amarelo-pálido, de 2V muito pequeno e negativo. Tais características sugerem tratar-se de moscovita ou de zinnwaldita, ou ambas. Cassiterita e opacos ocorrem como acessórios. A composição modal (% de volume) visualmente estimada para esta fácies é a seguinte: mica branca 75%, topázio 20%, opacos 4%, cassiterita 1%.

Biotitito: É uma rocha de aparência xistosa, cor avermelhada quando alterada, muito semelhante em aparência aos "xistos" mineralizados que ocorrem no garimpo da Ingazeira, localizado junto à borda do maciço do Mocambo. Ao microscópio a biotita mostra pleocroísmo variando de marron a amarelo, granulação uniforme, frequentemente orientada. Clorita ocorre subordinadamente a partir de alteração de biotita. A composição modal (% de volume) visualmente estimada para esta fácies é a seguinte: biotita 95%, clorita 5%.

Albititos: Ocorrem associados aos greisens formando afloramentos razoavelmente extensos. É uma rocha de coloração cinza-escuro, estrutura maciça, textura porfirítica média a fina, definida por fenocristais de plagioclásio euédricos a subédricos e quartzo, imersos em matriz micácea de tonalidade cinza-escuro. O plagioclásio albita apresenta-se parcialmente sericitizado e tendendo a possuir contornos hidiomórficos. O quartzo é xenomórfico e exhibe claros sinais de deformação e cataclase. As micas têm granulação fina. Sericita, que provém do feldspato, predomina sobre biotita. Esta aparece em pequenas palhetas, formando agregados que acompanham os interstícios entre as ripas de feldspato. A composição modal (% de volume) visualmente estimada para esta fácies é a seguinte: albita 40%, sericita 20%, biotita 10%, opacos 3% e zircão 1%.



Fig. 6.7 - Indicação das áreas de rochas greisenizadas no maciço da Serra do Mocambo, a partir de imagens LANDSAT.



Fig. 6.8 - Cobertura vegetal tipo "campo sujo" associada às áreas de granitos greisenizados no maciço da Serra do Mocambo.



Fig. 6.9 - Predominância da "canela-de-ema" na Área Anômala número 1 e ao fundo o cerrado típico associado aos biotita-granitos.

Associados aos albititos ocorrem também granitos albitizados, com moscovita, alguma biotita e clorita formando a matriz cinza-escuro da rocha. Em amostras de campo eles são texturalmente semelhantes aos verdadeiros albititos, tendo a diferenciá-los o fato de seus fenocristais serem de feldspato-K e não plagioclásio.

A Tabela 6.1 mostra resultados de análises químicas (ppm) de elementos traços para as fácies acima mencionadas. Todos os tipos, à exceção de uma amostra do granito albitizado, são anômalos para cassiterita e também enriquecidos em outros elementos (Nb, Rb, Li, La, Be, Zn, Pb, etc.) típicos de granitos geoquimicamente especializados a Sn (Olade, 1980).

A Área Anômala nº 2, com cobertura vegetal semelhante à da Área 1, situa-se no platô mais alto da serra do Macambo, no divisor de águas das bacias dos córregos Monjolo, Ingazeira, Mocambo e Santa Rita.

Nesse local ocorre um granito leucocrático de textura granular hipidiomórfica grosseira. Ele é composto basicamente por fenocristais de feldspato-K até 4 cm, geralmente euédricos a subédricos, e, por quartzo, também em fenocristais. Biotita e mica verde semelhante à comumente observada nos granitos greisenizados ocorrem preenchendo os espaços entre os fenocristais de feldspato-K. É comum fluorita formando agregados na rocha. Ao microscópio o feldspato-K apresenta-se peritítico e frequentemente atravessado por vênulas de quartzo. Este ocorre também como agregados granoblásticos e mostra intensa extinção ondulante. O plagioclásio é albitico, levemente sericitizado. Biotita, às vezes com transformação incipiente para clorita, e moscovita ocorrem em agregados irregulares intersticiais ao feldspato-K. Epidoto e fluorita são acessórios frequentes. A composição modal (% de volume) visualmente estimada para esta rocha é a seguinte: feldspato-K 65%, plagioclásio 15%, quartzo 15%, biotita 3%, moscovita 1%, epidoto e fluorita 1%.

TABELA 6.1

ANÁLISE QUÍMICA (PPM) PARA ELEMENTOS TRAÇOS
DE TIPOS GREISENIZADOS DA SERRA DO MOCAMBO

	1	2	3	4	5	6
Sn	280	120	65	1500	130	5
Nb	260	360	360	70	170	170
Rb	590	1700	1260	1290	910	180
Zr	790	210	950	250	350	410
Li	100	295	170	380	440	50
Sr	22	30	29	30	23	65
Ga	30	58	55	50	46	38
La	1200	140	270	260	30	280
Y	250	320	320	360	70	180
Be	34	960	20	18	14	13
Zn	192	278	392	324	230	476
Pb	92	148	182	56	92	112
Cu	52	380	89	42	11	5
Mo	14	25	14	27	5	5
V	36	56	180	45	120	82
W	300	300	300	300	300	300
Ba	57	180	120	130	340	30
Fácies: 1 - Mica-quartzo greisen 2 - Topázio-mica greisen 3 - Biotitito 4 - Albitito 5 - Granito albitizado 6 - Granito albitizado						

FONTE: GEOSOL - Divisão de Laboratório.

A análise química de uma única amostra do moscovita-granito albitizado da Área Anômala nº 2 não apresenta-se anômala em Sn, do mesmo modo que o sedimentos de corrente analisados pela DOCEGEO (s.N.T., b) de drenagem que desce daquela região. A ocorrência de fluorita formando agregados frequentes na rocha merece maior atenção a esse mineral na área.

A Área Anômala nº 3 não foi visitada em campo. Para atingi-la seria necessária a montagem de um acampamento em cima da serra, o que não foi possível. Observada através de sobrevôos ela é muito semelhante à Área 1, em termos de feições superficiais. A única indicação da possível existência de minério naquele local é uma amostra de sedimento de corrente coletada pela DOCEGEO (s.N.T., b) em drenagem que desce da área (amostra COH-1006), a qual apresentou 188 ppm de Sn.

Várias outras áreas menores, como indicadas na Figura 6.7, ocorrem ainda no maciço da Serra do Mocambo. Apesar de suas pequenas extensões todas elas devem ser verificadas quanto à possibilidade de ocorrência de tipos metassomáticos. Além de espectralmente anômalas, todas elas são também estruturalmente controladas pelo mesmo padrão N60-70W, o qual controla também a Área Anômala nº 1.

CAPÍTULO 7

MACIÇO DA SERRA DO MENDES: RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A serra do Mendes localiza-se no município de Monte Alegre de Goiás, a aproximadamente 20 Km a oeste dessa cidade. O acesso à área é feito inicialmente pela rodovia GO-118, tomando a 8 Km da cidade uma variante secundária, transitável apenas por veículos com tração, a qual leva às sedes das fazendas Chapadinha, Mendes e Poção, todas em cima da serra. A partir desses locais todos os demais acessos são feitos através de caminhamentos a pé.

7.2 - TOPOGRAFIA E RELAÇÕES DE CONTATO

O maciço granítico da Serra do Mendes tem forma grosseiramente elíptica, com eixo maior de aproximadamente 15 Km, orientado segundo N30E, e o menor com cerca de 10 Km, perfazendo uma área total em torno de 120 Km². Ele constitui uma feição topográfica bastante ressaltada, com desnível da ordem de 400 metros em relação à cota das encaixantes. Internamente ocorrem quebras com até 200 metros criadas pelo entalhamento dos principais córregos, destacando-se dentre estes o Riacho Fundo, o Vazante e o Pedra de Amolar, todos controlados por falhamentos. A extremidade nordeste do maciço, a partir da falha do córrego Pedra de Amolar, é marcada por forte quebra topográfica que o coloca ao nível das encaixantes (Figura 7.1).

O maciço está encaixado em gnaisses e migmatitos do Complexo Basal, com os quais mantêm contatos normais e por falhas. Da mesma forma que nos demais corpos graníticos da região não se observam evidências claras de metamorfismo térmico, sendo comum nos contatos por falhas o desenvolvimento de rochas cataclásticas.

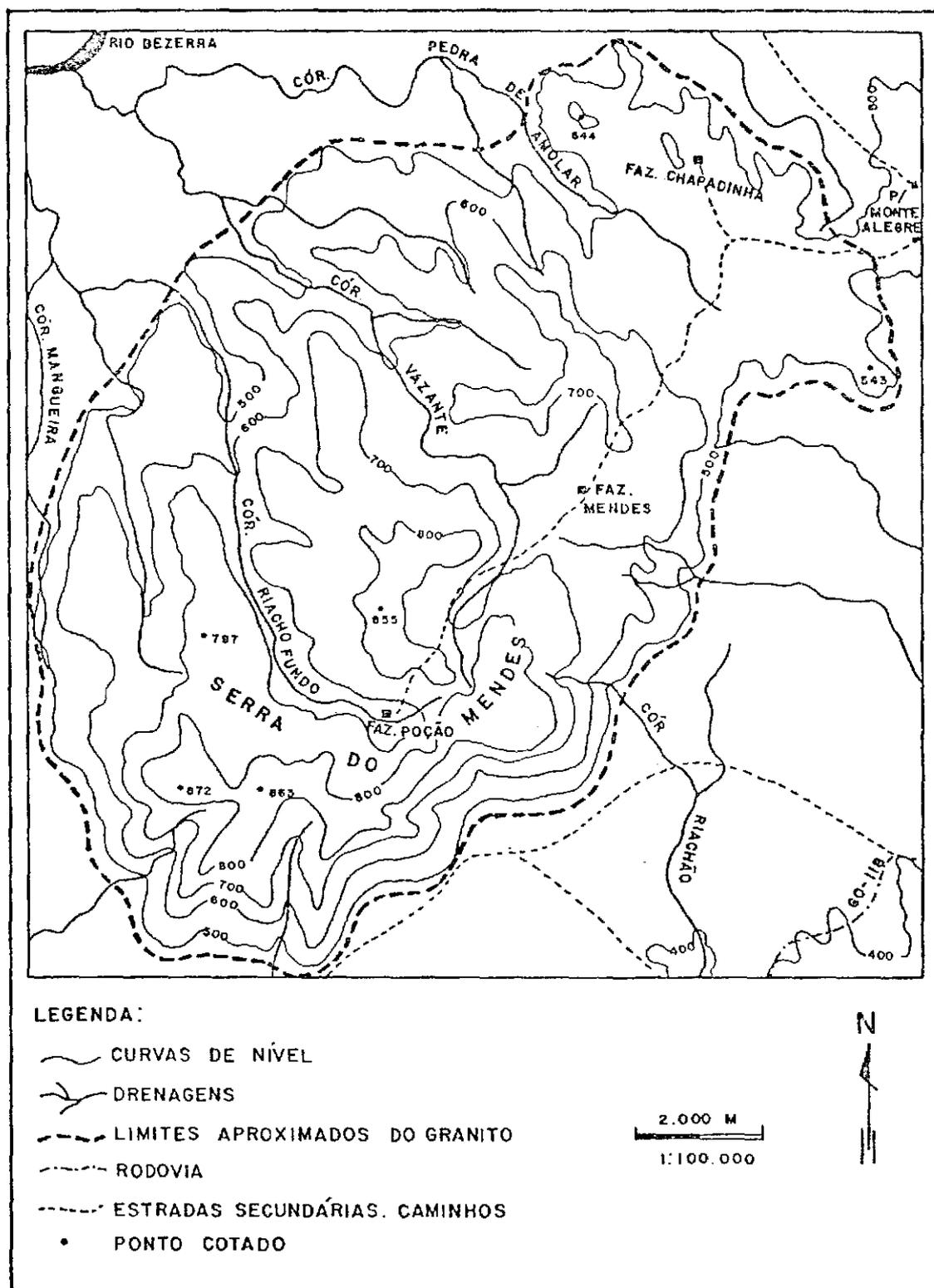


Fig. 7.1 - Mapa topográfico da Serra do Mendes.

FONTE: Adaptado de BRASIL.MEX/DSG (1976a).

7.3 - ASPECTOS GEOLÓGICOS GERAIS DO MACIÇO

O maciço da Serra do Mendes é constituído em sua maior parte por um biotita-granito de cor cinza-escuro, de textura granular hipidiomórfica média a grosseira, às vezes porfirítica. Ao microscópio o feldspato-K apresenta-se subédrico, comumente pertítico. O plagioclásio albitico é subédrico, parcialmente alterado para sericita e epidoto-zoisita. O quartzo é anédrico, corroído e com frequente extinção ondulante. Entre os máficos predomina a biotita, ocorrendo em lamelas de cor verde, embora a hornblenda possa estar presente algumas vezes. É comum observar evidências de recristalização parcial, representadas por agregados granoblásticos de quartzo e por linhas de biotita orientadas.

Tipos tardi-diferenciados, ligados à atividade pneumatólitica-hidromtermal são conhecidos no maciço, os quais serão discutidos mais detalhadamente na seção 7.5.

O maciço sofreu intenso cataclasmamento imposto por dois sistemas de falhamentos, o mais proeminente orientado segundo N20W e o secundário segundo N30E. Ao longo dessas falhas ocorrem tipos cataclásticos, em geral de coloração cinza-claro a avermelhada, exibindo estrutura xistosa, definida por matriz fina onde se destacam "olhos" de quartzo. Ao longo dos grandes falhamentos é comum também a ocorrência de rochas extrusivas, predominando dentre elas riolitos e riodacitos. Apresentam estrutura maciça, afanítica e tonalidades variando entre cinza-escuro a cinza-esverdeado. Ao microscópio destacam-se cristais maiores de quartzo, feldspato-K e plagioclásio imersos em matriz fina constituída por esses minerais e por biotita, com alguma moscovita e epidoto.

7.4 - ANÁLISE DAS IMAGENS DE SENSORIAMENTO REMOTO

7.4.1 - ANÁLISE DAS IMAGENS DO CANAL 5 DO MSS

As áreas anômalas indicadas a partir da análise das imagens da banda 5, tanto da estação seca quanto da estação de chuvas, não corres

pondiam a ocorrência de rochas metassomáticas no interior do maciço. As áreas de tonalidades claras observadas nessas imagens refletiam, quase sempre, efeitos de iluminação nas cristas topográficas frontais a direção do azimute solar.

A imagem do canal 5 obtida na estação seca evidenciou como áreas espectralmente anômalas extensas superfícies de topografia plana ou levemente ondulada que ocorrem no maciço e que correspondem a coberturas lateríticas desenvolvidas sobre biotita-granitos. Nesses locais ocorrem latossolos vermelhos escuros, relativamente espessos, com frequente presença de cangas ferruginosas em superfície. Devido a cor avermelhada dessas crostas, elas possuem altas reflectâncias na banda do canal 5, cuja faixa de sensibilidade é centrada nos comprimentos de onda correspondentes a cor vermelha, sendo por isso ressaltadas nesse canal. A Figura 7.2 é o mapa temático que mostra a distribuição das coberturas lateríticas no maciço da Serra do Mendes, definidas entre os níveis de cinza 32 e 71, a partir da imagem do canal 5 da estação seca.

SERRA DO MENDES - CANAL 5 - PASS SAJUNT

TITULO : (01) (2-1) - GRANITO
TITULO : (02) (3-1) - COBERTURAS LATERITICAS
TITULO : (03) ESCALA GRAFICA = 1:50000

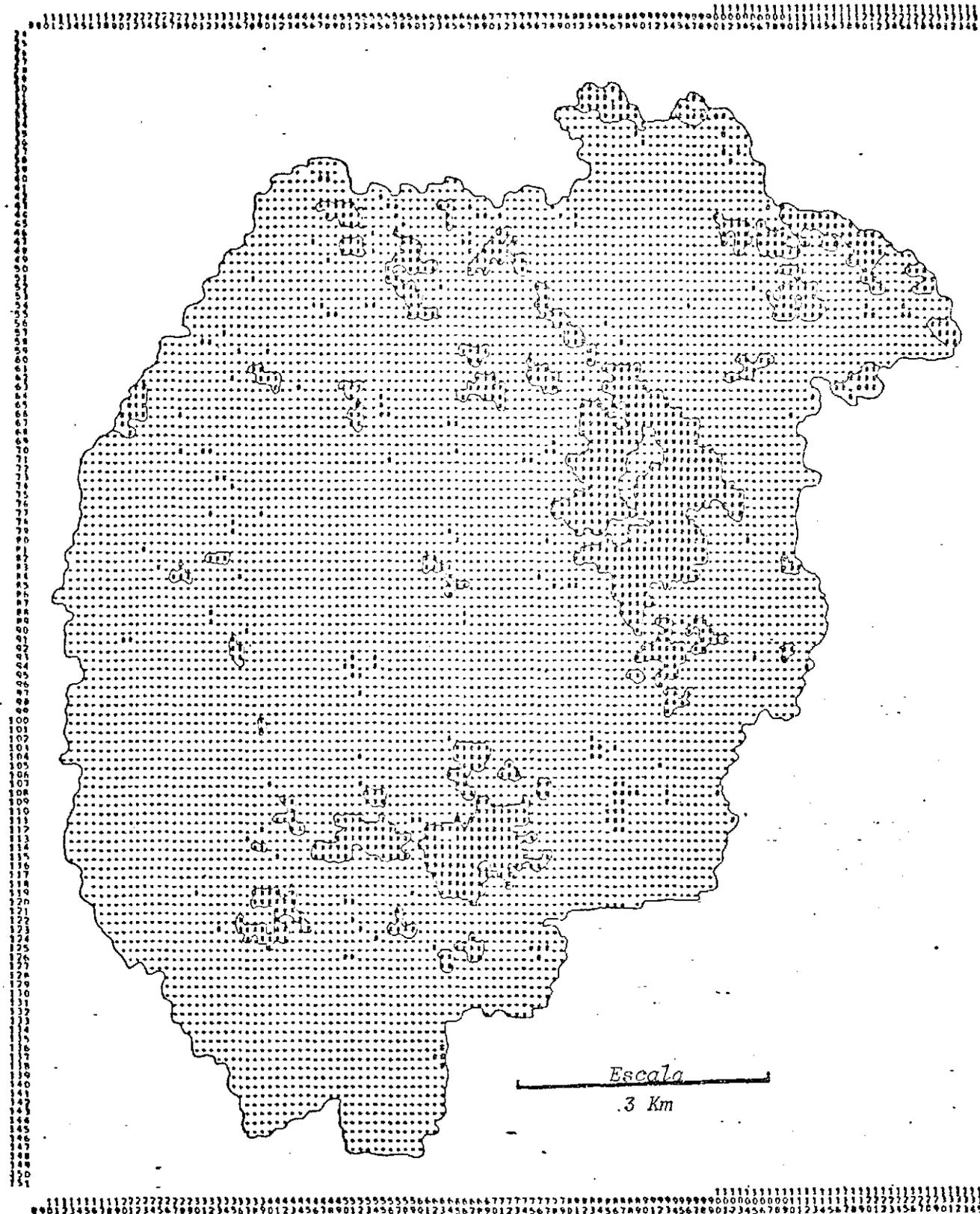


Fig. 7.2 - Mapa temático das coberturas lateríticas no maciço da Serra do Mendes, a partir da imagem do canal 5 na estação seca.

7.4.2 - ANÁLISE DAS IMAGENS *RATIO*

Como ocorreu nos maciços da Serra da Pedra Branca e do Mo cambo, a utilização da imagem *ratio* da estação de chuvas baseou-se na pre missa de uma evolução diferenciada da cobertura vegetal adaptada às áreas de biotita-granitos e de moscovita-granitos. As imagens *ratio* são sen sí veis a essas variações e minimizam os efeitos de iluminação solar dife renciada.

A Figura 7.3 é o mapa temático das áreas anômalas indica das a partir da imagem $R_{7/5}$. Ela mostra duas classes de níveis de cinza, uma compreendida no intervalo de 95 a 145 e outra com níveis maiores que 145. A análise sucinta deste produto mostra que a classe de tonalidade mais clara (maior índice de cobertura vegetal do terreno) pode ser segu ramente associada aos biotita-granitos. Por outro lado, a classe de ní veis de cinza mais baixos (menor índice de cobertura vegetal do terreno) engloba tanto áreas espectralmente anômalas correspondentes à ocorrência de granitos albitizados/greisenizados, quanto as coberturas later íticas anteriormente discutidas, como pode ser constatado comparando as Figuras 7.2 e 7.3.

A inclusão de duas unidades litológicas totalmente distin tas, como moscovita-granitos e coberturas lateríticas, em uma única clas se na imagem *ratio* leva à conclusão de que não há, pelo menos ao nível de ser detectada pelas imagens MSS, diferenças significativas nos índi ces de cobertura vegetal do terreno para essas duas unidades. A semelhan ça entre as coberturas vegetais que ocorrem nas áreas de coberturas late ríticas e de moscovita-granitos greisenizados pode ser constatada compa rando as Figuras 7.4 e 7.5.

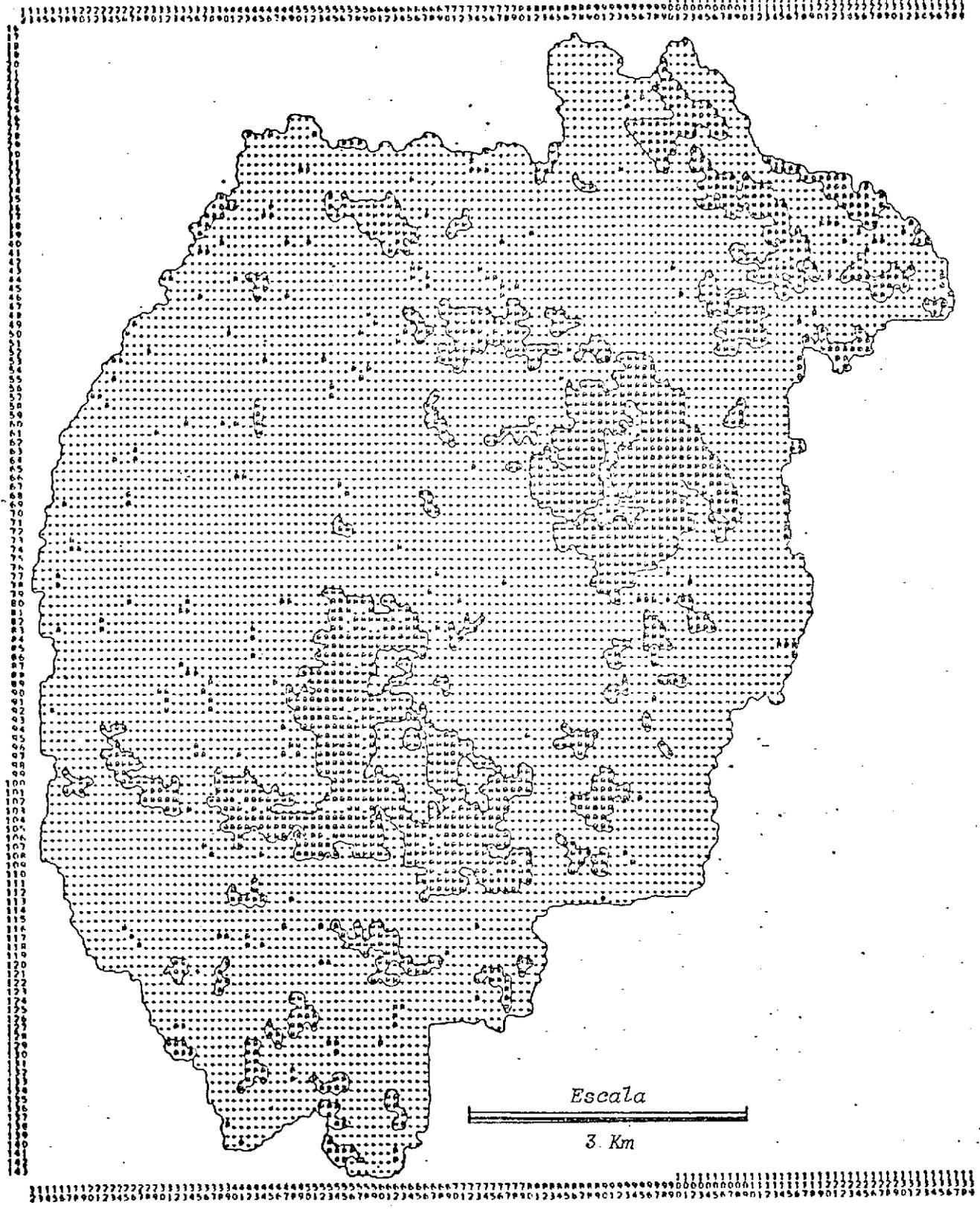


Fig. 7.3 - Mapa temático do maciço da Serra do Mendes, a partir da imagem ratio (R_{7/5}) na estação de chuvas.



Fig. 7.4 - Vista geral das áreas de coberturas lateríticas no maciço da Serra do Mendes.



Fig. 7.5 - Vista geral da área de ocorrência de moscovita-granitos greisenizados com solos claros e cobertura vegetal pouco desenvolvida e ao fundo, a vegetação de maior porte sobre os biotita-granitos.

7.4.3 - ANÁLISE DAS COMPOSIÇÕES COLORIDAS

O canal 5 discriminou apenas as áreas de coberturas lateríticas, mas não estabeleceu diferenças entre granitos a biotita e moscovita-granitos. A imagem *ratio* discriminou as fácies de granitos greisenizados, mas incluiu dentro desta classe as áreas de coberturas lateríticas, por apresentarem índices semelhantes de cobertura vegetal do terreno. A discriminação desses tipos em um único produto só pode ser feita através de composições coloridas, cujos matizes de cores estão diretamente associados aos comportamentos espectrais das diferentes associações de rocha-solo-vegetação. Utilizaram-se para isto imagens da estação seca, época em que a vegetação é menos desenvolvida, permitindo, assim, que o sistema sensor colete maior número de informações do conjunto rocha-solo. Raines et alii (1978) mostram que em terrenos de alto *albedo*, coberturas vegetais até 50% têm pouca influência no dado gravado pela banda 5 do MSS.

A composição colorida do maciço granítico da Serra do Mendes analisada neste trabalho foi obtida combinando o canal 5, através dos filtros vermelho e azul, com o canal 7, visto através do filtro verde. Este produto mostra clara separabilidade entre áreas de ocorrências de biotita-granitos, coberturas lateríticas e moscovita-granitos greisenizados. Como as áreas ocupadas por biotita-granitos possuem coberturas vegetais mais desenvolvidas, e estas refletem bastante na faixa de sensibilidade do canal 7, a colocação de um filtro verde nesse canal ressalta aquelas áreas que aparecerão em matizes de verde. As áreas de rochas metamórficamente alteradas aparecem em tonalidades vermelhas, enquanto as coberturas lateríticas aparecem em tonalidades azul-claras, quase brancas, influenciadas pela alta resposta das cangas lateríticas no canal 5.

A Figura 7.6 é o mapa temático extraído da composição colorida através do programa *Cluster Synthesis*, o qual mostra a distribuição das coberturas lateríticas, dos biotita-granitos e dos moscovita-granitos no maciço da Serra do Mendes. A Figura 7.7 mostra o diagrama bidimensional de separabilidade entre essas classes, as quais aparecem como agrupamentos bem definidos, com as seguintes médias de níveis de cinza nos ca

nais 5 e 7, respectivamente: biotita-granitos, 26 e 89; moscovita-granitos, 30 e 43; e coberturas lateríticas, 56 e 82. Observa-se que os biotita-granitos e os moscovita-granitos são definidos por médias muito próximas na banda do canal 5. Isto justifica o porquê dessas duas litologias não terem sido separadas na análise individual desse canal. Elas possuem, no entanto, boa separabilidade no canal 7, mas os efeitos de iluminação dificultam a separação neste canal. As coberturas lateríticas são confundidas, por sua vez, com os biotita-granitos no canal 7, mas são facilmente individualizáveis através do canal 5, pelas razões já discutidas na seção 7.4.1. A grande dispersão dos dados associados a esta classe é devida a efeitos da atividade antrópica naquelas áreas, geralmente usadas para a formação de pastagens.

TITULO : (01) MUCOVITA-CRISTINA
 AUTOR : (02) INSTITUTO GEOLOGICO
 TITULO : (03) MONTANAS TRIPITICAS
 TITULO : (04) ESCALA GRAFICA 1:50000
 TITULO : (05)

COMPOSIÇÃO COLORIDA DOS CANAIS 5/7 DE JUNHO/73

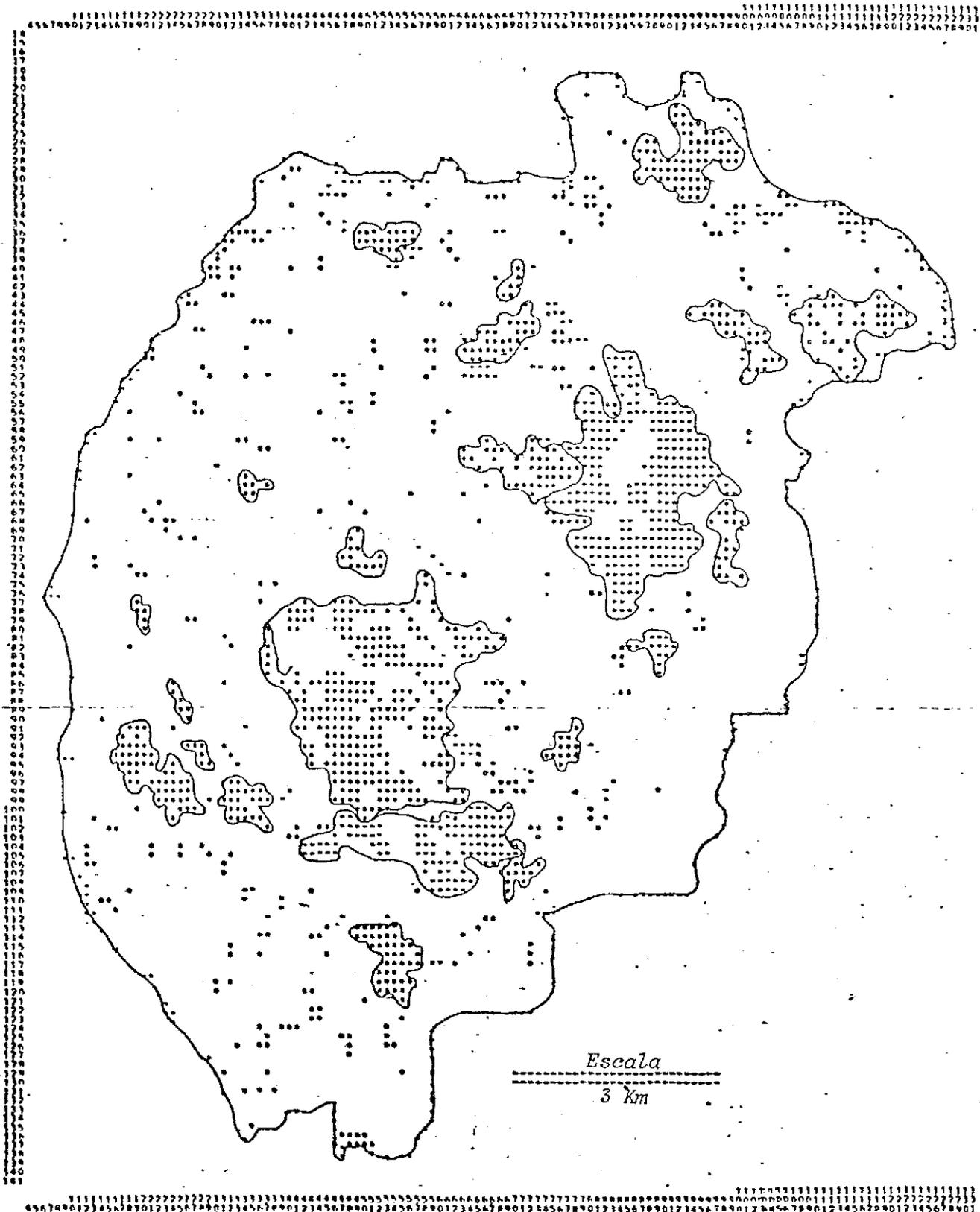


Fig. 7.6 - Mapa temático do maciço da Serra do Mendes, a partir de composição colorida dos canais 5 e 7 na estação seca.

7.4.4 - FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS DE RADAR

A fotografia aérea e a imagem de RADAR do maciço da Serra do Mendes, Figuras 7.8 e 7.9, respectivamente, não mostram nenhuma feição tonal característica e diagnóstica que possa ser associada às áreas de rochas greisenizadas, pelos mesmos motivos já discutidos para os maciços da Serra da Pedra Branca e do Mocambo. As coberturas lateríticas são, no entanto, bem evidenciadas em ambos os produtos, por apresentarem texturas fotográficas "lisas". A imagem de RADAR, dado ao seu forte efeito de sombreamento característico, evidencia o intenso fraturamento/falhamento sofrido pelo maciço

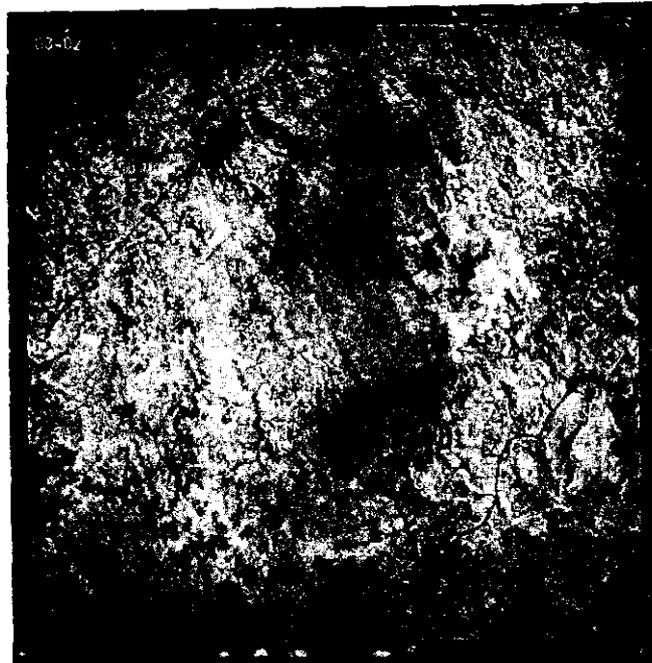


Fig. 7.8 - Fotografia aérea do maciço da Serra do Mendes.

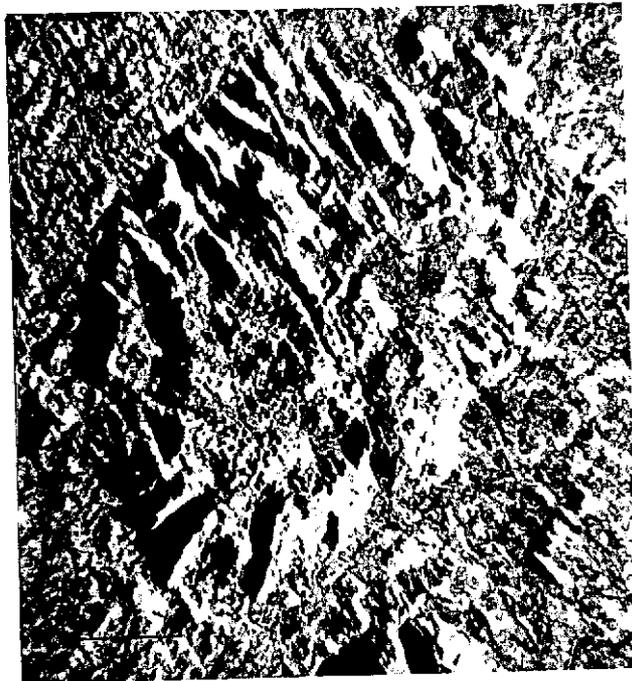


Fig. 7.9 - Imagem de RADAR do maciço da Serra do Mendes.

7.5 - INTEGRAÇÃO FINAL COM OS DADOS DE CAMPO

A Figura 7.10 mostra o maciço da Serra do Mendes através da banda 7 do MSS, e sobre ela o tema indicativo das áreas de ocorrência dos moscovita-granitos albitizados/greisenizados. Este tema foi de finido a partir da composição colorida discutida na seção 7.4.3, e extraído através do programa *Cluster Synthesis*. Muitas das encostas topográficas mal-iluminadas aparecem na composição colorida com tonalidades semelhantes às dos moscovita-granitos. A identificação dessas áreas pode, no entanto, ser feita comparando as Figuras 7.3 e 7.6, uma vez que a imagem *ratio* minimiza os efeitos de sombreamentos, eliminando essas áreas.

As áreas anômalas no maciço da Serra do Mendes mostram características superficiais muito semelhantes às aquelas dos maciços da Serra da Pedra Branca e Serra do Mocambo. A fraca arenização desenvolvida sobre as fácies de rochas metassomáticas leva à formação de litos solos claros, muito rasos e ácidos, com frequente exposição de rochas. Estes solos inibem o desenvolvimento do cerrado, aparecendo nesses locais variedades como "campo limpo" e/ou "campo sujo" (Figura 7.5).

A Área Anômala nº 1 corresponde a moscovita-granitos greisenizados que ocorrem formando um único corpo na parte central do maciço. Ele possui forma grosseiramente retangular, com eixo maior em torno de 3,5 Km e largura de mais ou menos 2 Km, sendo controlado pelo padrão de falhamentos orientado segundo NW. Seus contatos com os biotita-granitos na borda oeste são bruscos, feitos através da falha do córrego Riacho Fundo (Figura 7.11). Nos contatos normais a passagem de um tipo ao outro se dá em geral de maneira gradual, marcada pela diminuição da biotita, passando-se às vezes a um granito a duas micas, ou pelo aparecimento de fácies de granito pórfito, nas quais fenocristais de feldspato-K podem alcançar até 4 cm. Nesses locais de transição é comum também aparecer corpos aplíticos e veios de quartzo sempre orientados segundo N20W.



Fig. 7.10 - Indicação das áreas de rochas albitizadas/greisenizadas no maciço da Serra do Mendes, a partir de imagens LANDSAT

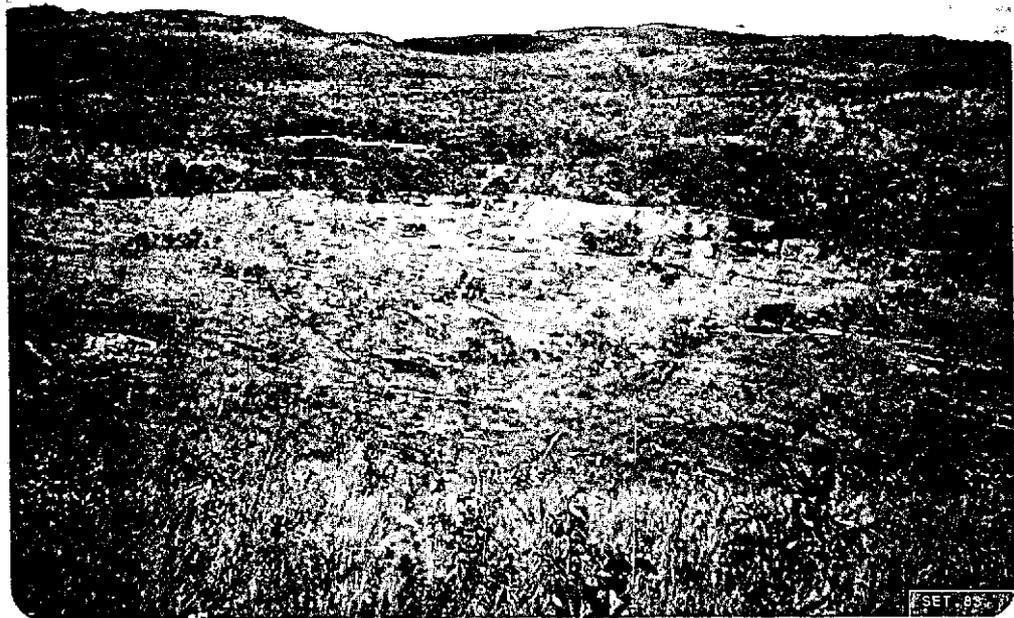


Fig. 7.11 - Contato por falha ao longo do córrego Riacho Fundo entre moscovita-granitos greisenizados em primeiro plano e biotita-granitos ao fundo.

Observar a diferença no padrão da cobertura vegetal associada a cada tipo.

O moscovita-granito típico da Área 1 é uma rocha de cor cinza-claro, textura equigranular média, às vezes fortemente orientada por afeito de cataclasmamento. Ao microscópio o feldspato-K mostra difusa geminação gradeada, geralmente pertítico. O plágiosclásio é albita em geral sericitizado, e o quartzo é xenomórfico, frequentemente com extinção ondulante. A presença de cristais de topázio na matriz da rocha atesta a atividade de soluções greisenizantes. A mica branca, ocorrendo em lamelas, foi identificada como moscovita, mas pode também tratar-se da zinnwaldita. Fluorita intersticial de granulação grosseira é frequente, assim como veios de carbonatos. A composição modal média (% de volume) visualmente estimada para esta fácies é: feldspato-K 35%, albita 30%, quartzo 25%, mica branca 8%, outros 2%.

Associados aos moscovita-granitos ocorrem localmente fácies típicas de greisens, de composição mica-quartzo. A rocha possui coloração clara, estrutura xistosa, constituída essencialmente por mica branca, quartzo e topázio.

Além de fluorita, os moscovita-granitos greisenizados encerram significantes anomalias em estanho e wolfrâmio, como mostrado na Tabela 7.1.

TABELA 7.1

VALORES ANÔMALOS DE Sn e W ASSOCIADOS ÀS
ÁREAS DE MOSCOVITA-GRANITOS GREISENIZADOS

AMOSTRA	VALORES/ELEMENTOS	AMOSTRA	VALORES/ELEMENTOS
118*	860W (ppm)	049**	250Sn (Gr/m ³)
053*	250Sn, 106W, 46Cu (ppm)	045**	196Sn (Gr/m ³)
061*	58W (ppm)	055**	265Sn (Gr/m ³)
030*	368Sn, 5,5Ta (ppm)	058**	108Sn (Gr/m ³)
063*	265W (ppm)	096**	203Sn (Gr/m ³)
104**	144W (ppm)	059**	224Sn (Gr/m ³)
103**	142W (ppm)	033**	115Sn (Gr/m ³)
060**	3189W, 5Ta (ppm)	150**	203Sn, 34,4Ta (Gr/m ³)
* em rocha			
** em concentrado de bateia			

FONTE: Mineração Oriente Novo, (s.N.T.)

Várias outras áreas de ocorrências mais restritas são indicadas no maciço da Serra do Mendes, com características espectrais semelhantes aos moscovita-granitos da Área Anômala nº 1. A análise dos produtos de sensores, confirmada pelos trabalhos de campo, permitiram agrupá-las em dois conjuntos: o primeiro deles engloba as áreas de números 2 a 8, e o segundo todas as demais áreas assinaladas na Figura 7.10, mas não numeradas.

Algumas áreas anômalas do primeiro conjunto possuem certa identidade espectral que permite distinguí-las como uma subclasse no domínio dos moscovita-granitos. No mapa temático da imagem *ratio* (Figura 7.3) elas são caracterizadas por tons de cinza mais escuros, definidos no intervalo entre 95 e 114, enquanto os moscovita-granitos estão entre 115 e 145. Isto significa que essas áreas possuem índices de cobertura vegetal ligeiramente inferiores aos dos moscovita-granitos que formam a Área nº 1. Nas composições coloridas elas são distinguidas destes por apresentarem matizes de vermelho mais escuro (magenta).

Na Área Anômala 2 ocorre uma rocha granítica leucocrática, de estrutura maciça e textura granular fina. Análises petrográficas desses tipos permitiram classificá-los como albititos. Ao microscópio eles mostram textura granular formada por cristais xenomórficos imbricados. O plagioclásio albítico, com razoável quantidade de epidoto e sericita, e o quartzo possuem granulação mais grosseira que a dos demais minerais. A biotita é rara e ocorre em pequenas palhetas. A composição modal média (% de volume) visualmente estimada para estes tipos é a seguinte: plagioclásio 70%, quartzo, 20%, epidoto 8%, biotita 2%.

Na Área Anômala nº 3 ocorre um granito albitizado, de granulação fina a média, leucocrático. Ao microscópio sua textura é granular definida pelo feldspato-K, plagioclásio e quartzo em cristais xenomórficos imbricados. O plagioclásio é albita parcialmente sericitizado. Moscovita fina e epidoto ocorrem como acessórios. A composição modal média (% de volume) visualmente estimada para essas rochas é a seguinte: feldspato-K 45%, quartzo 30%, plagioclásio 24%, moscovita 1%. Esses granitos albitizados aparecem também às vezes fortemente cataclásados transformados em milo

nitos de coloração avermelhada destacando-se na matriz xistosa da rocha "olhos" de quartzo e palhetas de mica branca.

As Áreas Anômalas de números 4 a 8 possuem características espectrais idênticas às das áreas 2 e 3 e, por conseguinte, deve-se tratar também de ocorrências de granitos albitizados.

Não se conhece até o momento mineralização associada a essas áreas de albititos. Próximo à sede da fazenda Chapadinha existiu no passado um pequeno garimpo de cassiterita (Gilmar A. Pagotto, informação verbal), hoje abandonado. É possível que a fonte primária desse minério esteja associada à Área Anômala 3 que se situa próximo a esse local. No córrego Pedra de Amolar que drena a área a DOCEGEO (s.N.T., b) encontrou em uma amostra de sedimento de corrente 40 ppm de Sn. Essas constatações indicam a necessidade de uma maior atenção a essa área.

As demais áreas indicadas na Figura 7.10 são de ocorrência de biotita-granitos, mas apresentam em superfície grande quantidade de blocos de quartzo, responsáveis pela alta reflectância dessas áreas, semelhante à daquelas ocupadas por moscovita-granitos albitizados/greisenizados.

CAPÍTULO 8

SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS EM OUTROS MACIÇOS DA PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE GOIÁS

8.1 - MACIÇO DA SERRA DA SOLEDADE

O maciço da Serra da Soledade localiza-se a cerca de 10 km ao norte da vila de Terezina. O acesso a ele é feito através da GO-118 que o corta. O maciço possui forma grosseiramente elipsoidal, com eixo maior da ordem de 8 km orientado segundo N30E e eixo menor de 4 km. Como os demais corpos graníticos da região, constitui uma feição topográfica bastante destacada, com desnível máximo em torno de 400 metros em relação à cota base regional (Figura 8.1).

O maciço da Serra da Soledade está encaixado em gnaisses e migmatitos do Complexo Basal, com os quais mantém contatos geralmente por falhas que condicionam a orientação do corpo segundo a direção NE.

O corpo granítico formador da serra da Soledade é descrito por Araújo e Alves (1979) como representado predominantemente por granófiros. Na realidade estes tipos são subordinados. O maciço é constituído na sua maior parte por um granito de coloração cinza-claro, granulção média a fina, fortemente cataclástico. Ao microscópio esta rocha mostra fenocristais de feldspato-K fortemente peritíticos ocorrendo isolados na matriz ou formando intercrescimentos gráficos com quartzo. O plagioclásio é albitico e mostra-se geralmente sericitizado. A rocha apresenta-se orientada face à atuação de esforços dirigidos, fenômeno este claramente evidenciado pelas micas (biotita e moscovita) que constituem bandas delgadas e irregulares na matriz quartzo-feldspática. A composição modal média (% de volume) visualmente estimada para o granito típico da serra da Soledade é a seguinte: feldspato-K 45%, quartzo 25%, plagioclásio 20%, biotita 5% e moscovita 5%.

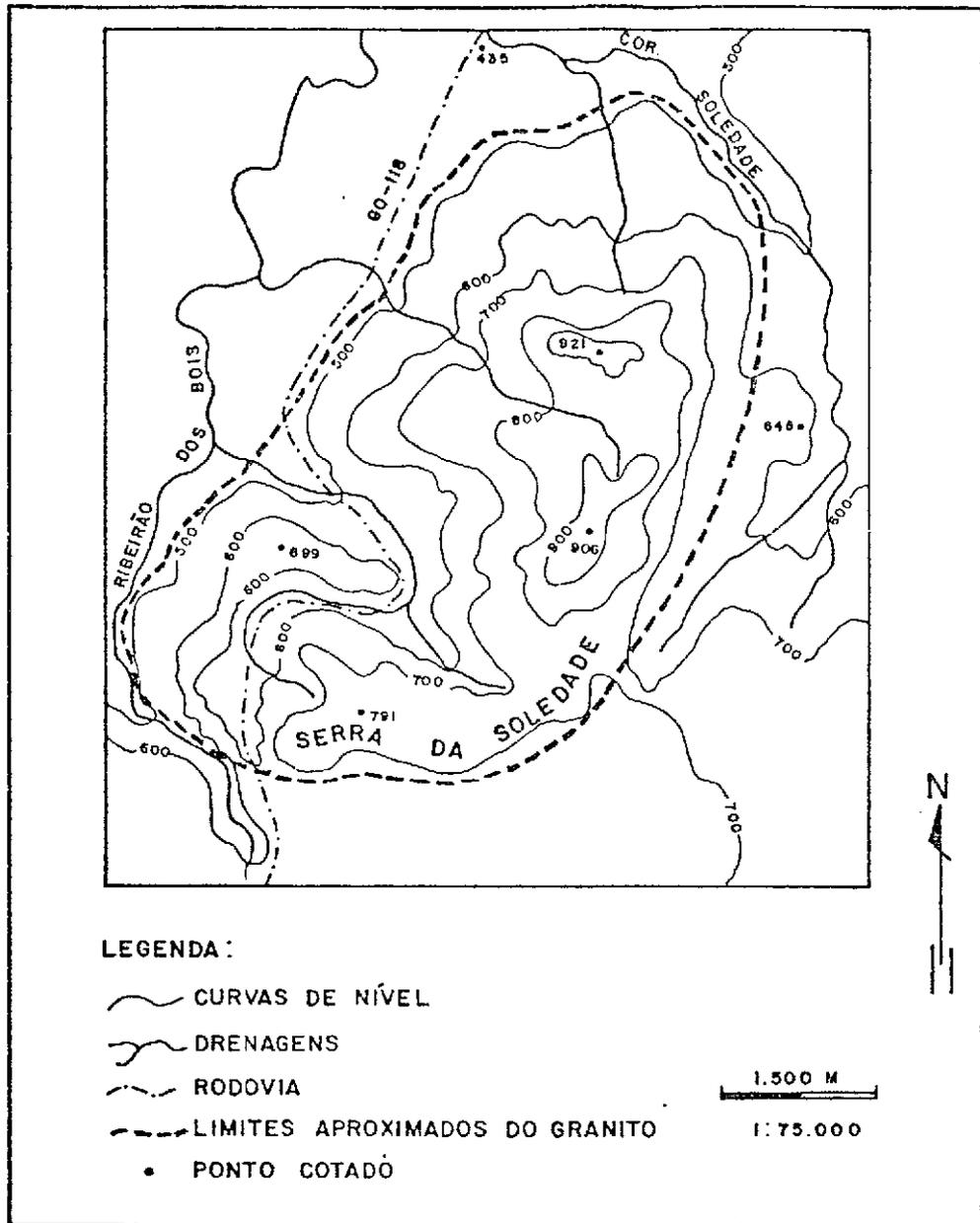


Fig. 8.1 - Mapa topográfico do maciço da Serra da Soledade.

FONTE: Adaptado de Brasil. MEx/DSG (1976c).

A Figura 8.2 mostra o maciço da Serra da Soledade através da imagem do canal 7 do MSS-LANDSAT, com a indicação das áreas espectralmente anômalas. Elas foram definidas a partir da imagem *ratio* da estação de chuvas e quantificadas no intervalo de níveis de cinza

compreendido entre 135 e 158. Nessas áreas ocorre uma rocha granítica de coloração cinza, levemente orientada e de textura porfirítica. Fenocristais euédricos e subédricos, em geral milimétricos, de feldspato-K e quartzo, também em fenocristais, ocorrem imersos em matriz fina formada por esses minerais e por biotita. Ao microscópio destacam-se fenocristais de albita delimitados por faces bem definidas, em geral sericitados. O quartzo, quando ocorre em fenocristais, tem forte tendência ao idiomorfismo, e na matriz ele comumente forma intercrescimentos gráficos com o feldspato-K. A biotita ocorre com pleocroísmo variando de castanho esverdeado a creme, em geral formando agregados irregulares, aos quais se associam pequenos cristais de epidoto. A composição modal média (% de volume) visualmente estimada para esses tipos, os quais foram classificados como granófiros, seria: plagioclásio e albita 30%, quartzo 23%, feldspato-K 30%, biotita 12%, epidoto 5%. Em certos locais essa rocha perde os fenocristais de feldspato, destacando-se agora na matriz fina fenocristais de quartzo azulado.

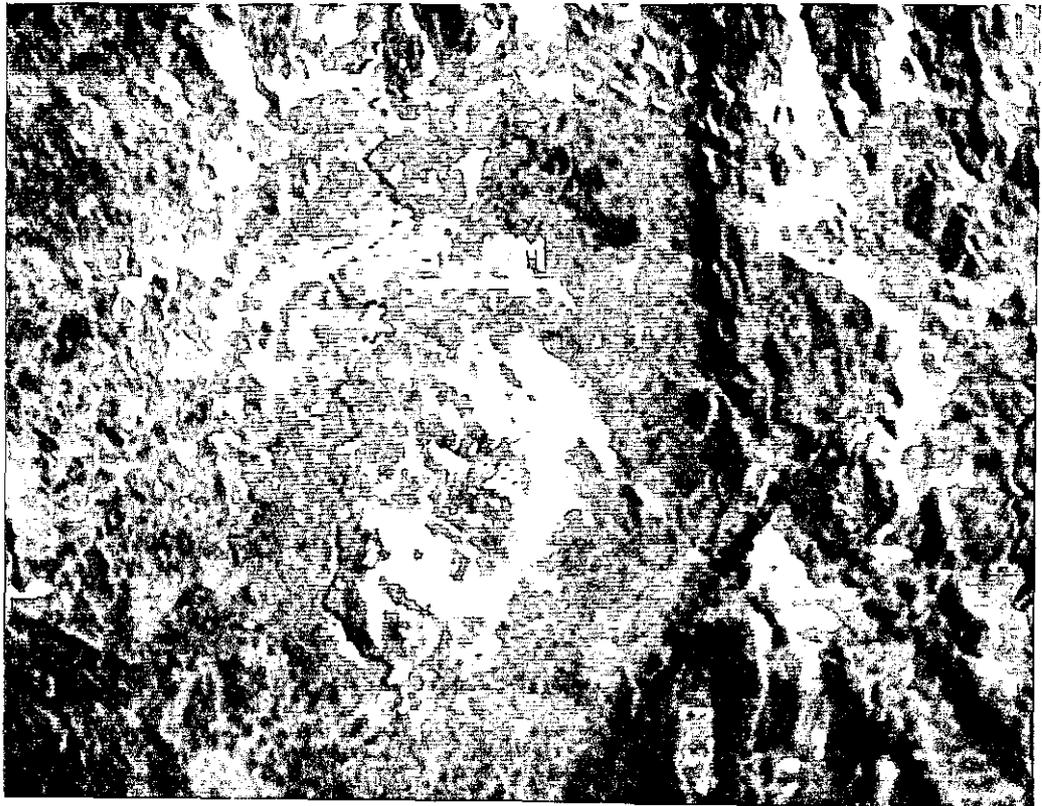


Fig. 8.2 - Indicações das áreas de ocorrências de granófiros no maciço da Serra da Soledade, a partir de imagens LANDSAT.

Mineralizações associadas a essas fácies não são conhecidas. Uma única análise química em amostra dos tipos acima mencionados não indicou qualquer valor anômalo. Araújo e Alves (1979) referem-se, no entanto, à ocorrência de fluorita no granito.

8.2 - MACIÇO DA SERRA DO PASSA-E-FICA

O maciço granítico da Serra do Passa-e-Fica localiza-se aproximadamente a 30 km a sudoeste da cidade de Monte Alegre de Goiás. O acesso a ele é feito através da rodovia GO-118, que margeia pelo lado leste. O maciço é formado pelo morro da Mangabeira, que constitui uma feição bastante destacada topograficamente, e pelo seu prolongamento para sul, o morro da Laranjinha, este mais arrasado (Figura 8.3).

A Figura 8.4 mostra o maciço da Serra do Passa-e-Fica através da imagem do canal 7 do MSS-LANDSAT, com a indicação das áreas espectralmente anômalas. Elas foram definidas a partir da imagem *ratio* da estação de chuvas e quantificadas no mesmo intervalo de níveis de cinza (133 a 150) que definiu as áreas greisenizadas no maciço da Serra do Mocambo, discutido no Capítulo 6.

Os trabalhos de campo nessa área foram realizados apenas a nível de reconhecimento, uma vez que a DOCEGEO vinha desenvolvendo paralelamente o mapeamento de detalhe do maciço, cujos resultados foram sumariados por Padilha e Laguna (1981). A serra do Passa-e-Fica é constituída em sua quase totalidade por um biotita-granito de coloração rósea e textura granular média a grosseira que forma os morros da Mangabeira e da Laranjinha. Ocorrem entre essas duas áreas dois núcleos de moscovita-granito com diâmetros médios em torno de 500 metros, separados por estreita faixa de biotita-granito. As rochas metassomaticamente alteradas, associadas às quais ocorrem localmente corpos de greisens de composição mica-quartzo, são em geral fortemente catacladas e muito semelhantes aos moscovita-granitos albitizados que formam a Bacia no maciço da Serra da Pedra Branca, discutido no Capítulo 5. No Passa-e-Fica eles são a fonte primária de importantes mineralizações de cassiterita, ocorrendo subordinadamente fluorita, topázio e sulfetos.

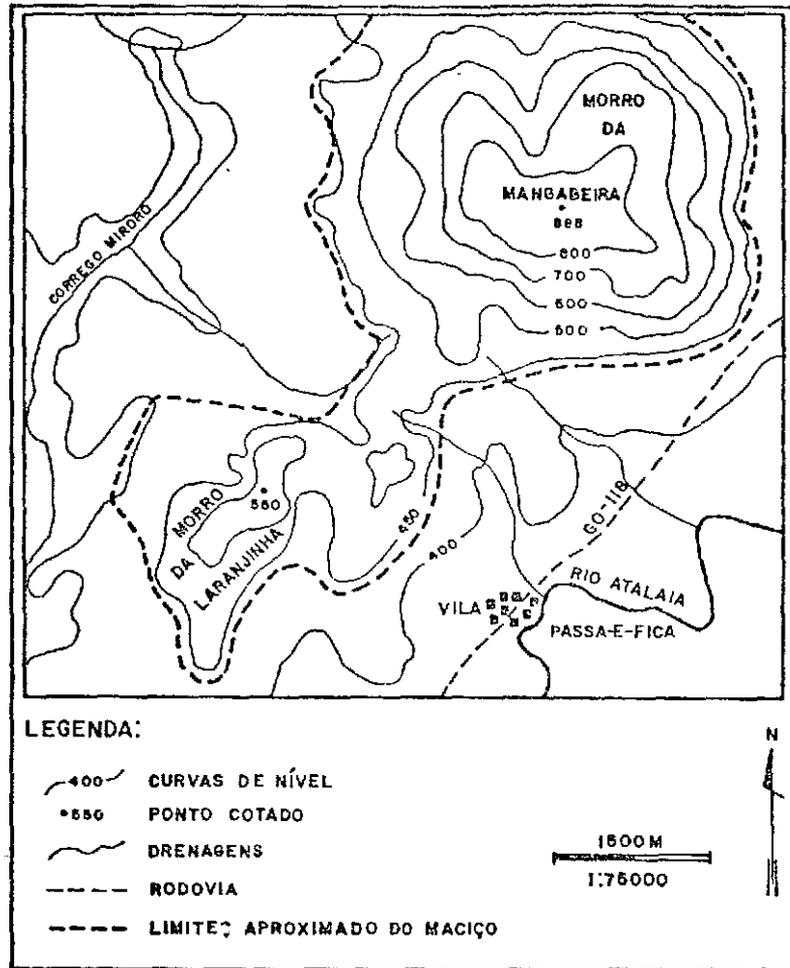


Fig. 8.3 - Mapa topográfico do maciço da Serra do Passa-e-Fica.

FONTE: Adaptado de Brasil. MEX/DSG (1976a).

Comparando a Figura 8.4 com o mapa geológico do maciço elaborado na escala de 1:10.000 DOCEGEO (s.N.T.,c) pôde-se notar que através de uma simples análise das imagens chegou-se praticamente aos mesmos resultados obtidos pela DOCEGEO, através de exaustivos levantamentos de campo.



Fig. 8.4 - Indicação das áreas ocupadas com rochas greisenizadas no maciço da Serra do Passa-e-Fica, a partir de imagens do LANDSAT.

8.3 - MACIÇO DA SERRA BRANCA

O maciço da Serra Branca, localizado próximo à confluência dos rios Preto e Maranhão, no município de Cavalcante, foi o único corpo analisado na subprovíncia do Rio Maranhão. Ele está encaixado em rochas metassedimentares dos grupos Serra da Mesa e Araí, formando com elas uma feição dômica bastante ressaltada topograficamente, com acentuada depressão em sua parte central.

Esta área foi assunto de Dissertação de Mestrado de Andrade (1978) no curso de pós-graduação da Universidade de Brasília, que elaborou o mapa geológico do maciço na escala de 1:25.000 e efetuou estudos detalhados de petrografia, mineralogia e dos processos de greisenização e mineralizações associadas de Sn, Be e Cu. Os resultados desse trabalho foram posteriormente sintetizados por Andrade e Danni (1978). Em virtude da existência prévia de um mapa geológico de semide

talhe, dispensou-se a realização de trabalhos de campo nesse maciço, tendo sido realizados apenas sobrevôos de reconhecimento.

A Figura 8.5 é uma composição colorida do maciço da Serra Branca, obtida com os canais 5 e 7 do MSS-LANDSAT, tomados na estação seca. Comparando-a com o mapa geológico do maciço (Andrade e Danni, 1978) nota-se que o produto LANDSAT discriminou as áreas ocupadas pelos muscovita-granitos greisenizados que ocorrem no maciço. Dentro dessas áreas a imagem mostra, ainda, indicações tonais associadas a algumas das fácies de greisens endógenos reconhecidas por aqueles autores no maciço. Feições bastante destacadas na imagem LANDSAT são também os grandes falhamentos que cortam o corpo granítico e controlam estruturalmente a distribuição espacial das fácies greisenizadas, os quais não estão indicados no mapa geológico acima mencionado.

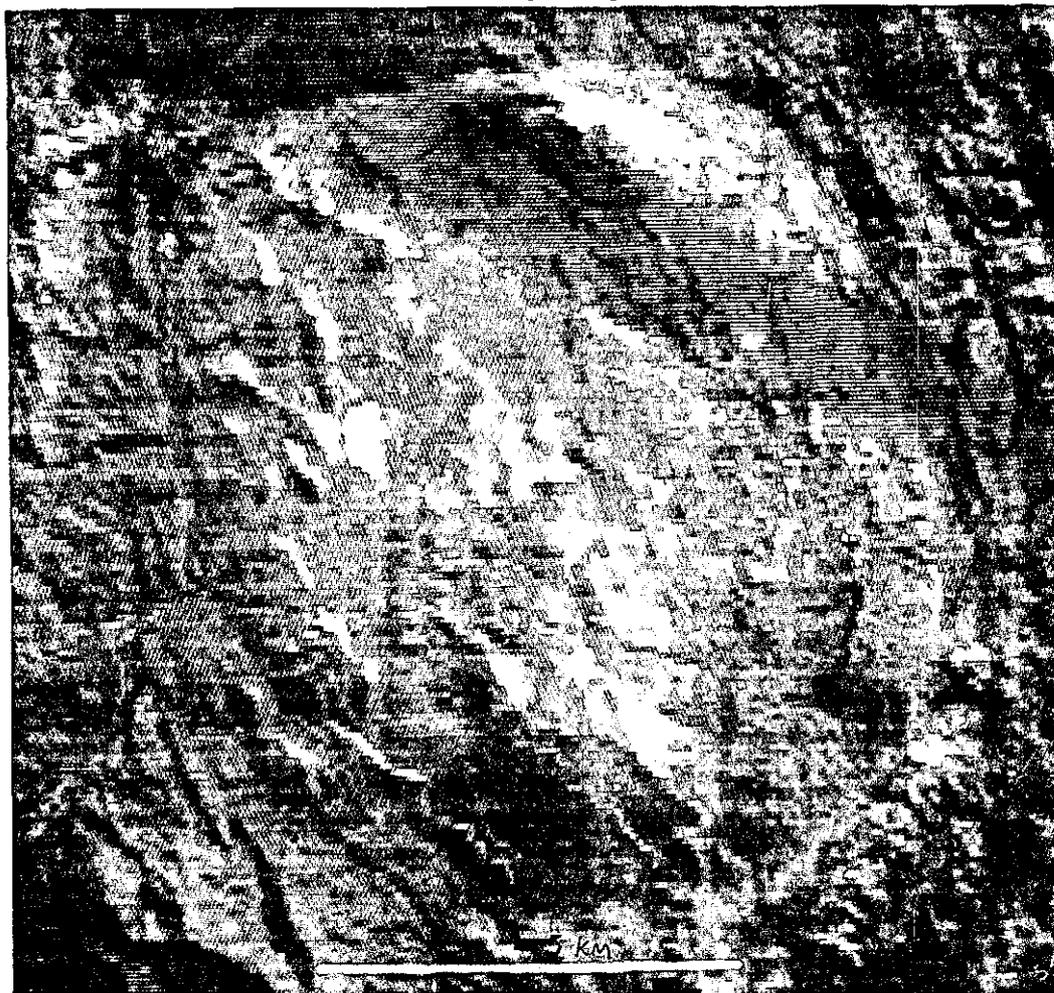


Fig. 8.5 - Composição colorida do maciço da Serra Branca, a partir de imagens LANDSAT.

PARTE III - SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL APLICADO À PROVÍNCIA
ESTANÍFERA DE RONDÔNIA

- . Características Gerais da Província Estanífera de Rondônia
- . Maciço Pedra Branca Como Caso-Exemplo: Resultados e Discussões

CAPÍTULO 9

CARACTERÍSTICAS GERAIS DA PROVÍNCIA ESTANÍFERA DE RONDÔNIA

9.1 - ASPECTOS FISIOGRAFICOS: CLIMA E VEGETAÇÃO

A Província Estanífera de Rondônia engloba uma extensa área definida grosso modo pelas seguintes coordenadas geográficas: 61^o-66^o de Longitude Oeste e 8^o-11^o de Latitude Sul. A região é drenada pelo rio Madeira e seus tributários e tem como principal pólo de desenvolvimento a cidade de Porto Velho.

Na região domina o clima tropical quente e úmido com duas estações distintas: uma com chuvas, de outubro a abril, e outra seca, de maio a setembro. A precipitação média na estação de chuvas é de 2.250 mm, com maior concentração nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro. O período de junho a agosto em geral fica completamente sem chuvas.

As temperaturas médias anuais giram em torno de 28^oC, podendo atingir no período mais quente (setembro/outubro) valores próximos a 40^oC. Os meses mais frios (junho e julho) apresentam temperaturas médias em torno de 22^oC. Eles podem eventualmente apresentar médias diárias inferiores a 12^oC, quando a região encontra-se sob influência de frentes polares que invadem o continente (Nimer, 1977b).

Na região domina a floresta subcaducifólica amazônica, constituída por árvores altas (20 a 30 metros), de troncos finos e copas em geral não muito desenvolvidas, além de vários estratos inferiores, com grande variedade de espécies (Kuhlmann, 1977).

9.2 - QUADRO GEOLÓGICO REGIONAL

As principais unidades litoestratigráficas conhecidas na área da Província Estanífera de Rondônia são mostradas na Figura 9.1, de

acordo com o mapa geológico do Brasil na escala 1:2.500.000 (BRASIL. MME/DNPM, 1981). As rochas mais antigas, admitidas como de idade arqueana, são representadas predominantemente por gnaisses, migmatitos, charnockitos, além de raras intrusões de rochas básicas e ultrabásicas.

As sequências do Proterozóico Médio iniciam-se na região com as coberturas plataformais de natureza marinha e continental (arcoseos, arenitos, calcários, siltitos, folhelhos, conglomerados, etc.) representadas pelo grupo Beneficente e pela formação Palmeiral. O granito Serra da Providência (Leal et alii, 1976), de natureza rapakivítica, corta o grupo Beneficente e mostra valores isocrônicos da ordem de 1.400 m.a. A formação Prosperança que se segue, é representada por sedimentos plataformais de natureza continental (arenitos, arcoseos, siltitos, conglomerados).

As efusivas ácidas de Caripunas (riolitos, dacitos, rio dacitos, tufos, etc.) estão associadas ao evento de colocação dos complexos graníticos estaniíferos de Rondônia (Kloosterman, 1966). Datações geocronológicas discutidas por Leal et alii (1978) mostram que a colocação desses granitoides deu-se por volta de 1.000 m.a. e a fase Caripunas em torno de 1.040 m.a. Em torno deste último valor situam-se também, os basaltos alcalinos da formação Nova Floresta. Os depósitos molassóides continentais que constituem a formação Pacaás Novos (arcoseos, conglomerados, arenitos, etc.) encerram as sequências proterozóicas da região.

Os depósitos quaternários são representados predominantemente por aluviões fluviais e por sedimentos areno-argilosos, com níveis de cascalhos.

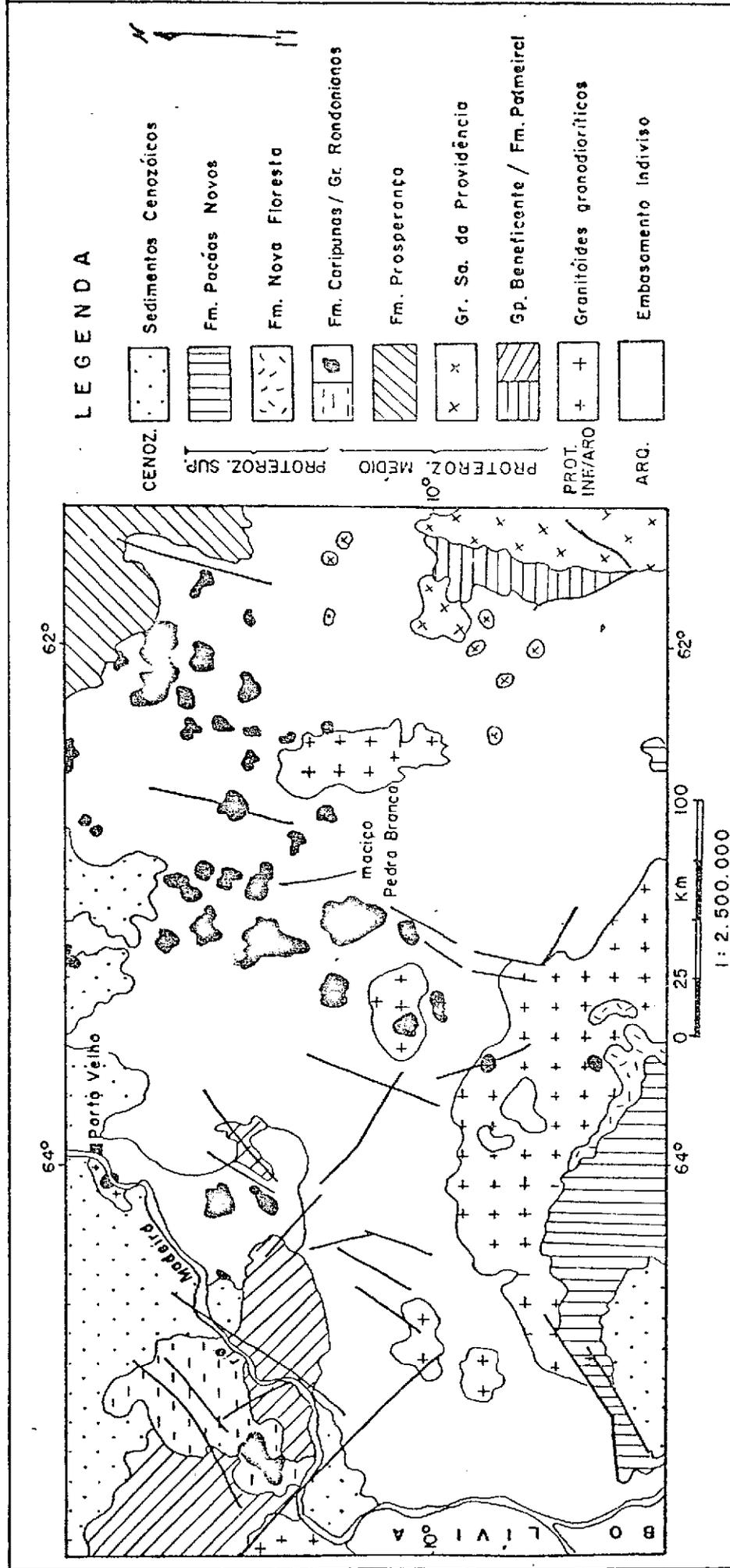


Fig. 9.1 - Esboco geológico da área da Província Estanífera de Rondônia, (BRASIL. MME/DNPM, 1981).

9.3 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DOS MACIÇOS GRANÍTICOS DE RONDÔNIA

Isotta et alii (1978) propõem a denominação de *Suíte Intrusiva de Rondônia* para designar todos os corpos graníticos que ocorrem naquela região, os quais, na concepção desses autores, pertencem à grande família dos granitos rapakivi, guardando entre si similaridades composicionais e íntima associação espacial das faciologias. A *Suíte* incluiria, portanto, os granitos anorogênicos ("younger granites" de Kloosterman, 1966, 1968), os granitos tipo Serra da Providência (Leal et alii, 1976), os "older granites" de Verschure e Bon (1972) e os "granitos de anatexia" de Souza et alii (1975). Na Figura 9.1 estes dois últimos tipos estão individualizados sob a denominação de "granitoides predominantemente granodioríticos". Isotta et alii (1978) reconhecem uma evolução multifásica para os maciços graníticos de Rondônia, subdividindo-os em *Granitos de Periferia* e *Granitos de Núcleo*. Os tipos de periferia podem formar extensos batólitos e têm como característica litológica genérica a predominância de viborgitos e pyterlitos. Nos *Granitos de Núcleo*, intrusivos nos primeiros ou diretamente no embasamento, predominam os tipos equigranulares e porfiríticos. Eles formam corpos circunscritos e podem estar em estreita associação com rochas vulcânicas, evidenciando ter sido colocados em altos níveis crustais, representando típicos corpos anorogênicos, à semelhança dos granitos nigerianos.

Em Rondônia são grandes as dificuldades em estudar a evolução tectono-magnética desses maciços. Suas relações de campo estão quase sempre obliteradas pelo profundo intemperismo, pela sedimentação quaternária e pela floresta tropical. No entanto, muitos desses corpos mostram evidências de ser estruturalmente controlados por feições circulares (Kloosterman, 1967; Isotta et alii, 1978), as quais poderiam ser testemunhos de sistemas de fraturas anelares desenvolvidas à época de sua colocação. Ademais, dentro dos maciços é comum a variação textural de tipos, a qual pode representar diferentes estágios evolutivos desses complexos, embora, ao nível dos conhecimentos atuais, não se possam reconhecer ainda as mesmas etapas evolutivas observadas nos granitos nigerianos.

9.3.1 - MINERALIZAÇÕES PRIMÁRIAS E SUAS RELAÇÕES COM OS MACIÇOS

Os *Granitos de Núcleo* encerram a maior parte da mineralização primária de Sn em Rondônia, a qual se associa também importantes concentrações de outros elementos como W, Ta, Nb, Li e F. Dados geocronológicos mostram que os processos metassomáticos responsáveis por essas mineralizações deram-se à época de colocação dos maciços. Zonas de falhas cortando esses maciços teriam criado os condutos que favoreceram a percolação das soluções mineralizantes. A maioria dos autores concorda que a mineralização está associada à atividade metassomática posmagmática, embora pouco ainda seja conhecido sobre a evolução desses fenômenos na área. Verschure e Bon (1972) reconhecem seis estágios evolutivos do metassomatismo, embora não especifiquem a importância de cada um deles no processo de concentração da mineralização. Waghorn (1974) afirma que o metassomatismo precoce (albitização), ao contrário do que ocorre nos maciços nigerianos, não foi um fenômeno importante à concentração de metais raros em Rondônia. Estes estão ligados a processos de greisenização desenvolvidos ao longo das zonas de falhamentos que cortam os maciços.

A despeito do ainda pouco conhecimento sobre várias características geológicas, mineralógicas e estruturais das mineralizações em Rondônia, uma primeira tentativa de classificação dos depósitos endo e epigenéticos associados aos corpos graníticos foi proposta por Bettencourt et alii (1981). Ela baseia-se: (a) na posição da mineralização em relação aos endo e exocontatos nos granitos geoquimicamente especializados; (b) na sua localização em relação a estruturas discordantes; e (c) nos tipos morfogenéticos dos corpos mineralizados. A Tabela 9.1 sumaria esta classificação.

TABELA 9.1

TIPOS MORFOGENÉTICOS DOS DEPÓSITOS DE Sn ASSOCIADOS
AOS CORPOS GRANÍTICOS DE RONDÔNIA

POSIÇÃO	LOCALIZAÇÃO	TIPOS MORFOGENÉTICOS DOS CORPOS	ASSEMBLEIA MINERAL	COMPLEXOS GRANÍTICOS
Em exo-con-tato de grã-nitos geo-quimicamen-te especiã-lizados	em estruturas dis-cordantes	veios e vênulas	quartzo, moscovita, ilmenita, sulfetos	São Lourenço
			quartzo, topázio, tantalita, columbita, berilo	Massangana
			quartzo-moscovita	Igarapé Preto São Francisco
			quartzo-topázio, wolframita	São Domingos
			quartzo-sulfetos, fluorita	Alto Candeias Santa Bárbara
em estruturas dis-cordantes, provavelmente sobre cúpulas de granitos		"pipe" de brecha explosiva "stockwork" de veios de greisens	quartzo-moscovita-topázio, zircão, wolframita, titanita	Porro do Potasi
			fluorita, Cu, Pb, sulfetos	
			quartzo, moscovita, topázio, berilo	
Em endo-con-tato de grã-nitos geo-quimicamen-te especiã-lizados	em cúpulas graníticas	corpos provavelmente na forma de "stock"	quartzo - leitoso, wolframita e sulfetos	Alto Candeias (Balateiro)
	em estruturas dis-cordantes	veios e vênulas	quartzo, moscovita, biotita, topázio, columbita - tantalita, sulfetos	Santa Bárbara
			quartzo, moscovita, topázio, tantalita-columbita (raro)	Massangana Rio das Garças
			quartzo, topázio, moscovita, ilmenita, berilo, wolframita, tantalita-columbita	Oriente Novo
			quartzo, moscovita, columbita-tantalita	São Lourenço Oriente Novo
	Dentro de granitos geo-quimicamen-te especiã-lizados (próximo dos contatos mútuos)	em estruturas dis-cordantes (fraturas profundas)	veios, vênulas	quartzo, micas verdes, columbita rara
quartzo, molibdenita, arsenopirita (com inclusões de leollingita e bismuto nativo)				Alto Candeias
quartzo, sulfetos				Igarapé Preto
quartzo, topázio, moscovita				São Domingos
quartzo-fluorita				Alto Candeias

FONTE: Adaptada de Bettencourt et alii (1981).

Em Rondônia a natureza das fácies petrográficas e consequentemente da mineralização associada é fortemente dependente do nível de exposição atual dos maciços pela erosão. Assim, nos corpos mais profundamente erodidos, onde as fácies de cúpula já foram removidas, a mineralização primária parece estar ligada a pegmatitos (Kloosterman, 1970). De acordo com Isotta et alii (1978) a importância econômica dos depósitos reflete os níveis de erosão dos maciços. Assim, os depósitos mais ricos são aqueles nos quais a erosão trabalha ainda a cúpula dos granitos estaníferos, expondo suas zonas mais ricas. Sobre este aspecto esses autores chamam a atenção para a importância em verificar no campo todas as estruturas circulares observadas em fotografias aéreas ou em imagens de satélite. Elas podem ser reflexo de possíveis fraturas anelares, associadas à colocação desses maciços, às vezes nem sempre aflorantes, mas que podem condicionar mineralizações importantes.

CAPÍTULO 10

MACIÇO PEDRA BRANCA COMO CASO-EXEMPLO: RESULTADOS E DISCUSSÕES

10.1 - LOCALIZAÇÃO E ACESSO

O maciço Pedra Branca (Bom Futuro) localiza-se no município de Porto Velho, de onde dista cerca de 170 km. A partir dessa cidade o acesso à área é feito inicialmente pela rodovia BR-364 até à altura do quilômetro 134, tomando-se, aí, uma variante secundária à esquerda, com cerca de 35 km. A Figura 9.1 assinala a posição do maciço Pedra Branca em relação aos demais corpos graníticos da região.

10.2 - TOPOGRAFIA E VEGETAÇÃO

O maciço Pedra Branca não assinala qualquer ressaltamento topográfico marcante em relação às rochas encaixantes, integrando com estas o que Isotta et alii (1978) denominam *Planalto Rebaixado de Rondônia*, caracterizado por relevo de colinas arredondadas e interflúvios tabulares. Morfologicamente, no entanto, a existência das rochas graníticas é denunciada por um relevo localmente dissecado, com frequentes *inselbergs* que formam lajedos de dimensões máximas em torno de 2 km, em geral desprovidos de vegetação de grande porte.

A cobertura vegetal na área do maciço e em toda a região é a floresta tropical (Figura 10.1), cujas características principais foram mencionadas no Capítulo anterior.



Fig. 10.1 - Cobertura vegetal na área do maciço Pedra Branca em Rondônia.

10.3 - TIPOS LITOLÓGICOS OBSERVADOS NA ÁREA DO MACIÇO PEDRA BRANCA

A Figura 10.2 mostra o mapa de afloramentos dos principais tipos litológicos encontrados na área do maciço granítico da Pedra Branca, de acordo com os dados de campo levantados por Payolla et alii (1983). Mais de 90% da área é coberta por depósitos aluviais, coluviais e eluviais holocênicos, além de depósitos sedimentares ligados ao sistema fluvial pleistocênico. Essas coberturas quaternárias e a floresta tropical impedem quase sempre a observação dos contatos do maciço com as encaixantes regionais. No campo é comum passar do domínio das rochas encaixantes para o interior do maciço granítico, sem que se já observada qualquer feição indicativa desta passagem.

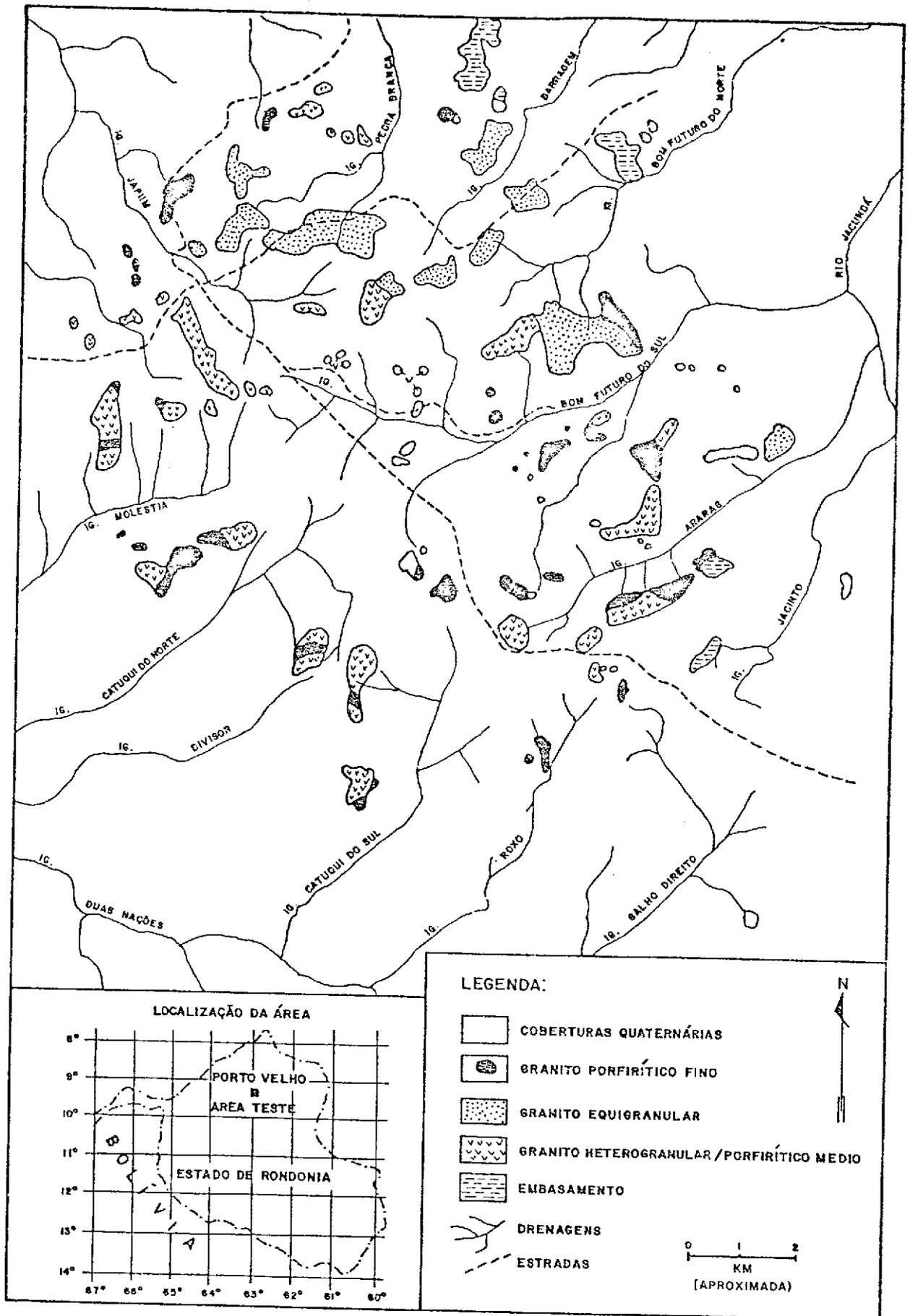


Fig. 10.2 - Mapa de afloramentos na área do maciço Pedra Branca

FONTE: Payolla et alii (1983).

O maciço Pedra Branca está encaixado em rochas de alto grau de metamorfismo do Complexo Basal, representadas em sua maioria por migmatitos transpostos e por gnaisses de composições granítica e tonalítica, além de ocorrências menores de anfibolitos e metabasitos.

Conforme discussão apresentada por Payolla et alii (1983), as rochas graníticas que compõem o maciço, enquadram-se em três fácies principais, definidas por suas características texturais predominantes a nível de afloramentos, a saber: granito heterogranular a porfirítico médio, granito equigranular e granito porfirítico de matriz fina. Foi adotado como critério de campo para o mapeamento das fácies acima a predominância do litotipo, o que implica, no entanto, que pode haver recorrências locais entre litotipos. Assim, a fácies heterogranular pode englobar localmente texturas porfiríticas médias ou equigranulares, do mesmo modo que a fácies equigranular pode, às vezes, mostrar fenocristais de feldspato-K.

Os tipos heterogranular a porfirítico médio (Figura 10.3a) são predominantes e formam a maior parte do maciço. São rochas de coloração rósea, estrutura maciça, textura heterogranular hipidiomórfica, às vezes porfirítica. Nesta, uma matriz de granulação média engloba fenocristais de feldspato-K euédricos e subédricos, de dimensões médias entre 1 e 2,5 cm. Ao microscópio esses tipos mostram textura porfirítica na qual se podem notar pelo menos duas gerações de feldspato-K. A última delas forma fenocristais de microclínio, peritíticos, os quais englobam plagioclásio e feldspato-K mais precoces, além de quartzo corroído. Esse mineral aparece ainda em uma segunda geração, formando cristais hidiomórficos bipiramidais. O plagioclásio é albítico e a biotita é fortemente pleocrômica. A Tabela 10.1 mostra a composição modal média (% de volume) visualmente estimada para esta fácies.

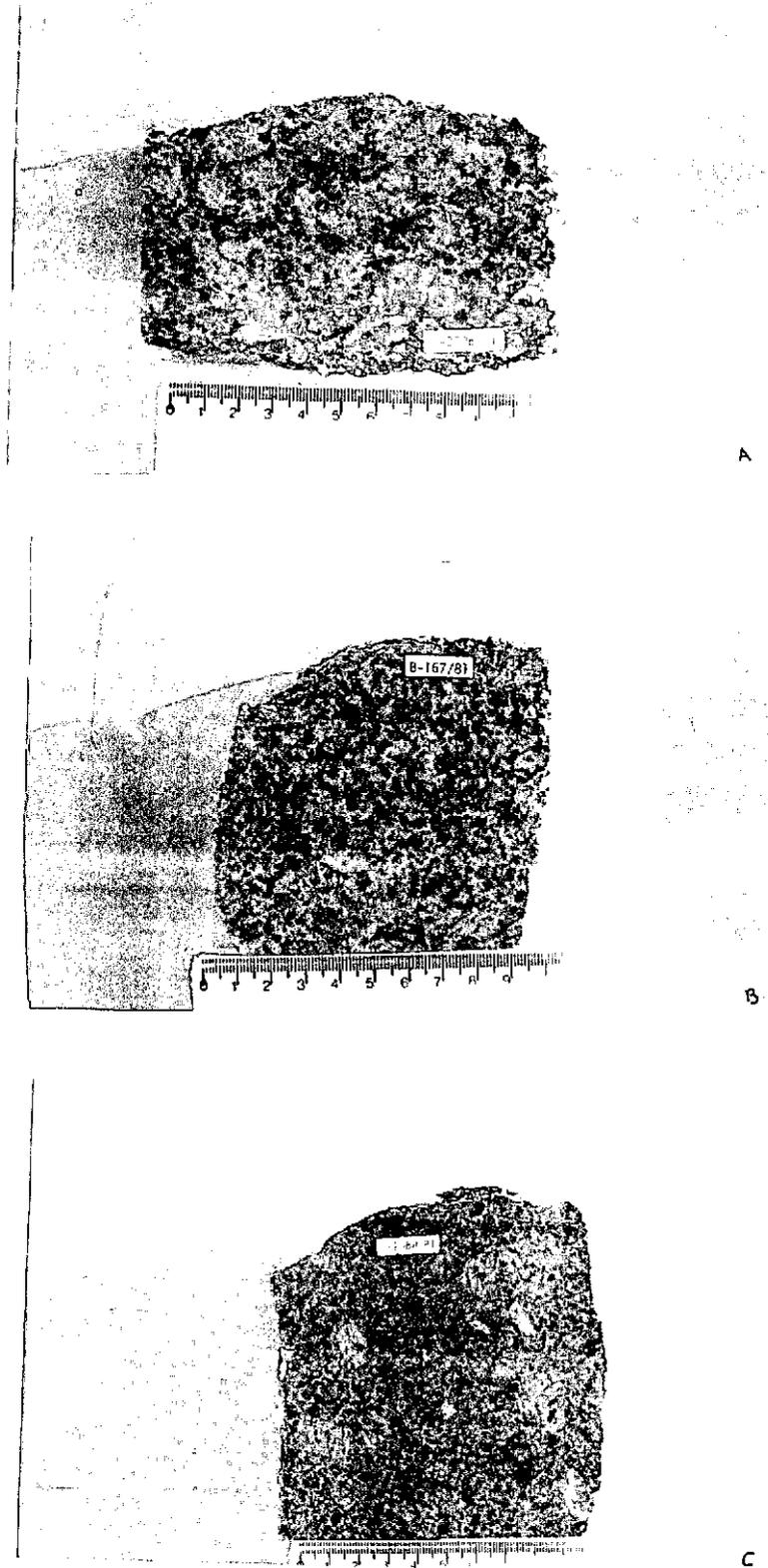


Fig. 10.3 - Tipos predominantes no maciço Pedra Branca: Granito Heterogranular (a), Granito Equigranular (b) e Granito Porfiritico Fino (c).

A fácies equigranular (Figura 10.3b) predomina na parte norte do maciço. É constituída por rochas de coloração rósea, estrutura maciça, textura granular média a localmente fina. O feldspato-K forma cristais subédricos e anédricos, enquanto o quartzo é xenomórfico. Biotita é pouco abundante e forma cristais dispersos na matriz da rocha. Embora macroscopicamente esta fácies mostre textura equigranular, ao microscópio ela é, como a anterior, também porfirítica, havendo porém diferença muito pequena entre a massa que forma a matriz da rocha e os cristais maiores de feldspato-K. Estes aparecem em pelo menos duas gerações. A primeira, menos pertítica, acha-se às vezes incluída em plagioclásios idiomórficos de natureza albítica. A segunda geração apresenta-se com geminação em grade, sendo fortemente pertítica, constituindo os maiores cristais da rocha. Quartzo aparece também pelo menos duas gerações: a primeira encontra-se inclusa em plagioclásios enquanto a segunda forma cristais maiores (3 a 4 mm), por vezes idiomórficos e bipiramidais. A Tabela 10.1 mostra a composição modal média (% de volume) visualmente estimada para esta fácies. Estes tipos são mais pobres em feldspato-K e mais ricos em plagioclásios que os tipos heterogranular a porfirítico médio, anteriormente descritos.

A terceira fácies predominante no maciço é representada por granitos porfiríticos finos (Figura 10.3c), os quais predominam na parte centro-leste e nas bordas do corpo granítico. É uma rocha de coloração rósea, estrutura maciça e textura porfirítica, onde fenocristais de feldspato-K euédricos e subédricos, com dimensões entre 1 e 2 cm e raros ovóides, além de quartzo xenomórfico, acham-se imersos em matriz fina constituída por estes minerais, por plagioclásios e por alguma biotita. Ao microscópio estes litotipos possuem textura porfirítica, onde fenocristais de feldspato-K (centimétricos), quartzo e plagioclásio (milimétricos) ocorrem em massa fundamental formada por esses minerais e raras micas. Há pelo menos duas gerações de feldspato-K. A última delas inclui plagioclásio e quartzo corroído. O plagioclásio é albíta e apresenta-se parcialmente sericitizado. Há também duas gerações de quartzo, a última representada por fenocristais milimétricos, com tendência ao idiomorfismo e ao aparecimento de formas bipiramidais. Es

ta geração mostra sinais de reabsorção magmática e mais raramente intercrescimentos gráficas com o feldspato-K. Biotita, às vezes cloritizada, e sericita aparecem na matriz da rocha. A composição modal média (% de volume) visualmente estimada para esta fácies é mostrada na Tabela 10.1. Nota-se que os granitos porfiríticos finos são mais enriquecidos em quartzo e plagioclásio e mais pobres em feldspato-K que os tipos heterogranular e equigranular.

TABELA 10.1

COMPOSIÇÃO MODAL MÉDIA (% DE VOLUME) VISUALMENTE ESTIMADA
PARA AS TRÊS PRINCIPAIS FÁCIES DE ROCHAS
GRANÍTICAS DO MACIÇO PEDRA BRANCA

<u>FÁCIES</u> \ <u>MINERALOGIA</u>	<u>F-K</u>	<u>PLAG.</u>	<u>QUART.</u>	<u>BIOT.</u>	<u>SER.</u>	<u>CLOR.</u>
Gr. Heterogranular	52	22	23	3	-	-
Gr. Equigranular	44	27	24	4	1	-
Gr. Porfirítico Fino	40	28	28	3	-	1

10.4 - ANÁLISE DAS IMAGENS LANDSAT

10.4.1 - ESCOLHA DOS CANAIS E DOS ALGORÍTMOS DE REALCE

Nas condições amazônicas as feições superficiais do terreno sõ podem se manifestar em dados de sensoriamento remoto, como se viu, se a cobertura vegetal responder indiretamente a estas feições. Assim, para a análise dos dados LANDSAT deve-se inicialmente buscar o canal (ou canais) que melhor registre nuances do comportamento espectral da cobertura vegetal. A Figura 10.4 mostra o comportamento espectral da vegetação na faixa de sensibilidade do MSS. Nota-se que o canal 5 é inadequado em regiões de densa cobertura vegetal. Como sua fai

xa de sensibilidade é centrada no pico de absorção da radiação pela clorofila das folhas, em áreas de floresta tropical esse canal praticamente não traz informações, uma vez que a radiação incidente é quase totalmente absorvida pela folhagem. Na faixa de sensibilidade do canal 7, o comportamento da cobertura vegetal é oposto ao da banda do canal 5. Enquanto neste canal a REM é absorvida assim que ela atinge a primeira folha, a intensidade de resposta da vegetação no canal 7 é proporcional à quantidade de folhas que a REM encontra em seu percurso. Quando a radiação infravermelha choca-se com a primeira folha, parte dela é refletida (50%) e parte é transmitida (45%). A componente transmitida choca-se em seguida com nova folha ocorrendo, então, novo processo de reflexão/transmissão, e assim sucessivamente (Allen and Richardson, 1968; Myers, 1970). A intensidade do sinal de retorno coletado pelo sistema sensor é, deste modo, dependente da densidade da cobertura vegetal, guardando relação direta com esta. Isto permite ao canal 7 registrar variações de feições da cobertura vegetal, as quais podem estar ligadas a fatores do terreno.

A análise das imagens LANDSAT em áreas de floresta fica, assim, limitada ao canal 7. Sem considerar os grandes traços da topografia regional que obviamente são evidentes, feições morfológicas de expressão mais tênue podem, muitas vezes, ser perceptíveis nesse canal, porque o topo da floresta acompanha as ondulações do terreno. O ângulo de iluminação solar mais baixo, na estação seca, propicia efeitos de sombreamentos que favorecem a percepção de variações mais sutis do relevo.

Dadas as dificuldades naturais de verificação em campo das informações mostradas nos produtos de sensores, optou-se pela técnica de realce mais simples da imagem através do I-100. Por esta razão o algoritmo utilizado foi o *Linear Contrast Stretch*. As imagens realçadas através desta técnica são mais facilmente interpretadas, uma vez que os dados originais gravados não são alterados, mas apenas redistribuídos em nova escala de níveis de cinza, guardando a posição relativa original entre eles.

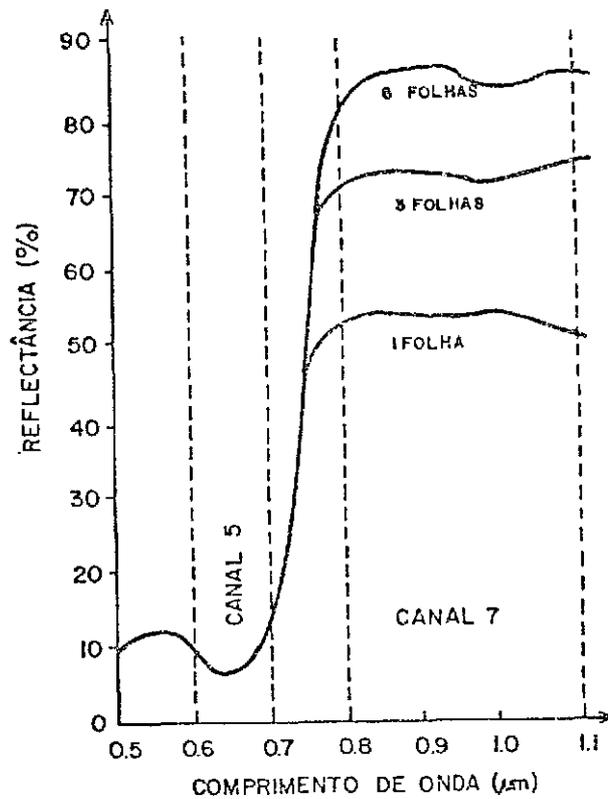
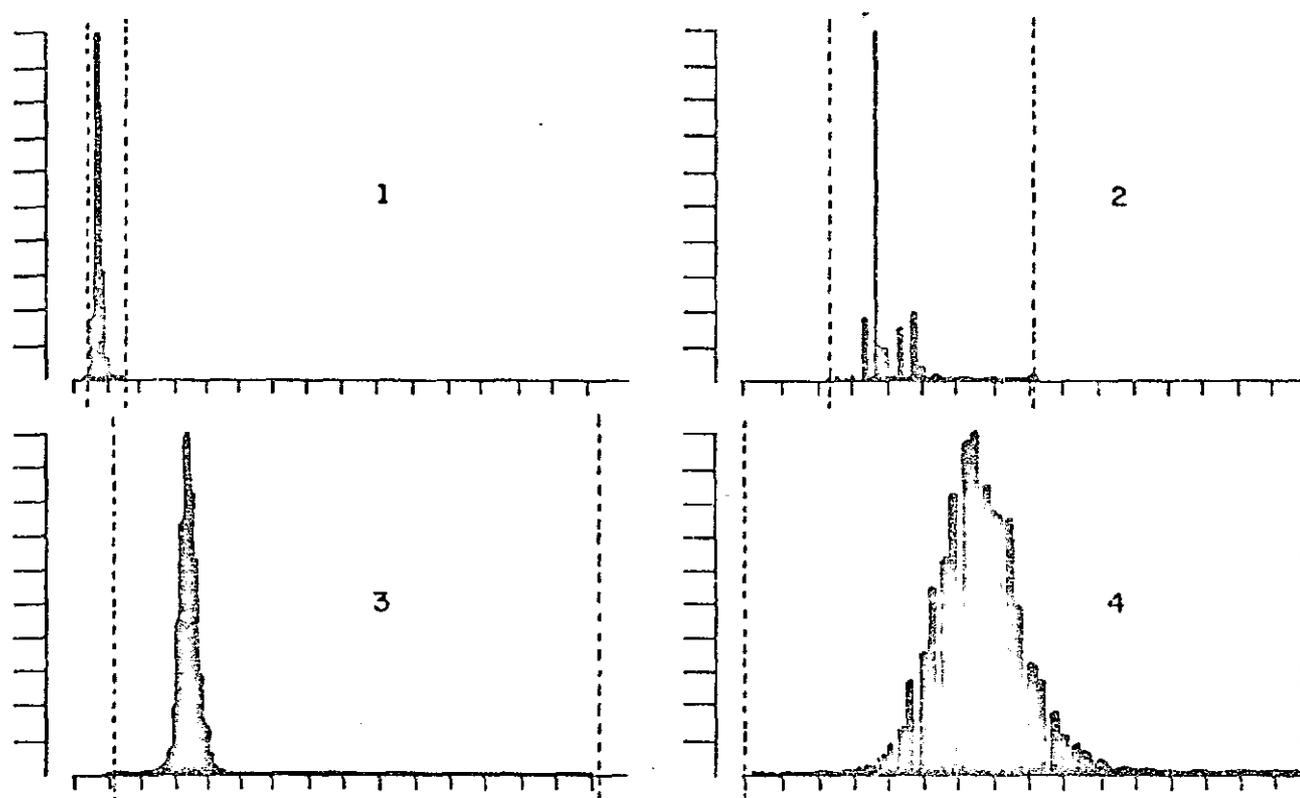


Fig. 10.4 - Comportamento espectral da vegetação em função da quantidade de folhas atingidas pela REM.

FONTE: Adaptada de Myers (1970).

A Figura 10.5 mostra os histogramas dos canais 5 e 7 do MSS que cobrem a área do maciço Pedra Branca. Os histogramas 1 e 2 correspondem à imagem do canal 5, respectivamente, antes e depois do *Stretch*. Como a absorção da REM pela vegetação nesse canal é muito forte, ele aparece com tonalidade muito escura, definida por poucos níveis de cinza (4 e 12). O histograma 3 corresponde ao canal 7 original, mais rico em tons de cinza (10 a 48) e, portanto, com maior conteúdo de informação que o canal 5. A aplicação do *Stretch* no canal 7 (histograma 4), torna-o mais brilhante (o nível médio de cinza passa de 27 para 52) e mais contrastado (a variância dos níveis de cinza passa de 4,5 para 107,7).



CANAIS - MSS	LI	LS	INT.	MED.	VAR.
1 - CANAL 5 - NORMAL	4	12	9	6.2	0.5
2 - CANAL 5 - REALCE	19	67	45	31.5	14.0
3 - CANAL 7 - NORMAL	10	48	39	27.3	4.5
4 - CANAL 7 - REALCE	0	127	128	52.6	107.7

Fig. 10.5 - Histograma dos canais 5 e 7 MSS que cobrem a área de estudo, antes e depois da aplicação do *Linear Contrast Stretch*.

A Figura 10.6 mostra a imagem do canal 7 do MSS que cobre a área do maciço Pedra Branca, após o *Contrast Stretch*.

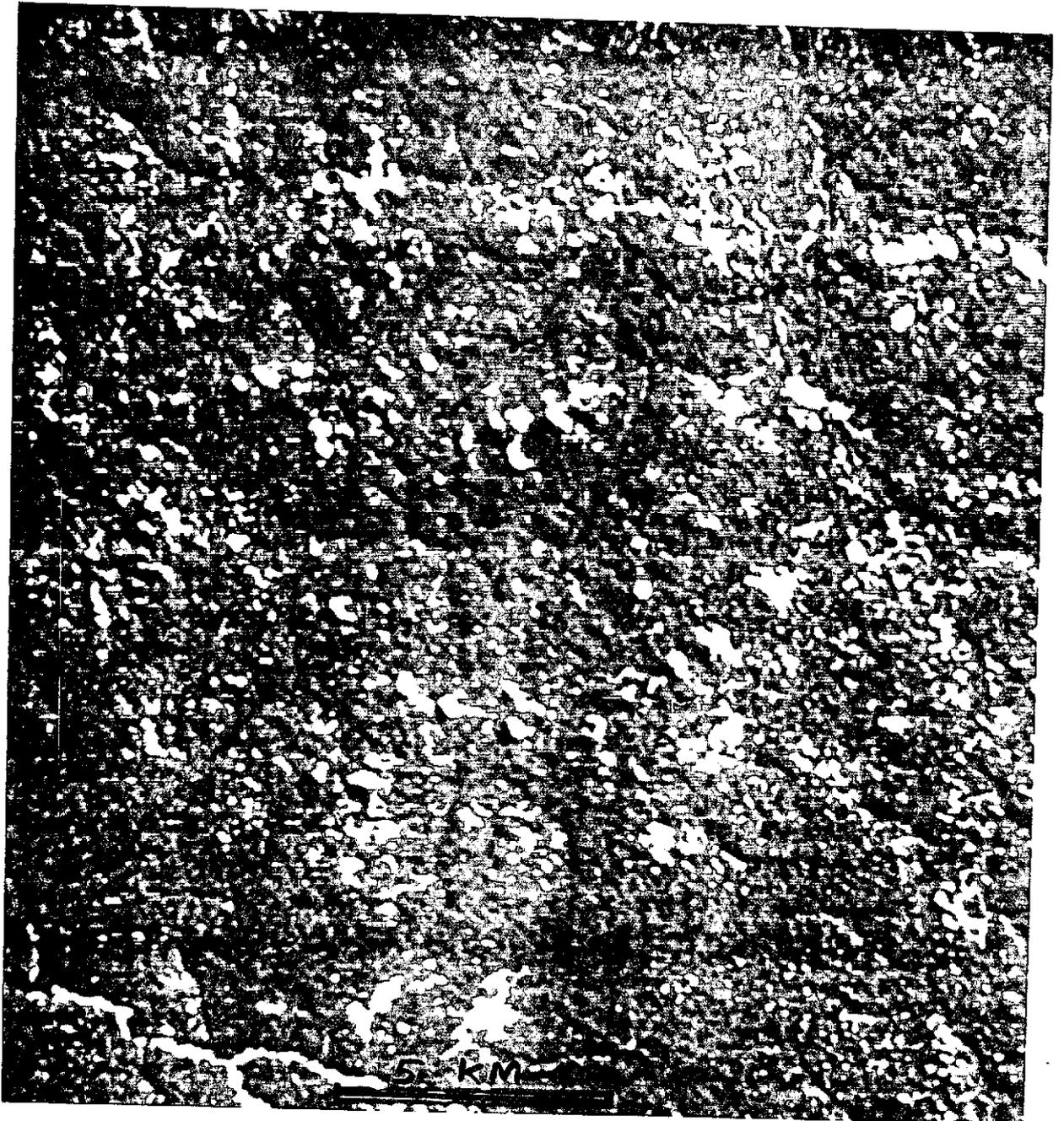


Fig. 10.6 - Imagem da banda 7 do MSS cobrindo a área do maciço Pedra Branca, realçada com *Linear Contrast Stretch*.

10.4.2 - ANÁLISE DA IMAGEM DO CANAL 7 E INTEGRAÇÃO COM OS DADOS DE CAMPO

A Figura 10.7 é o Mapa Fotogeológico do maciço Pedra Branca obtido a partir da interpretação da imagem do canal 7 do LANDSAT, na escala de ampliação de 1:100.000, sem o conhecimento prévio de qualquer informação de campo. Nele foram reconhecidos dois elementos fotogeológicos maiores, a saber: (a) Unidades Fotogeológicas e (b) Lineamentos e Lineações. Como Unidade Fotogeológica entende-se aqui uma área onde os elementos de textura fotográfica repetem-se com certa homogeneidade, definindo *Zonas Homólogas de Textura e Estrutura* (Rivereau, 1970). O termo *lineamento* será aqui empregado de acordo com a proposição de O'Leary et alii (1976) significando uma feição fotogeológica, retilínea ou levemente curvilínea, simples ou composta, a qual difere das feições adjacentes e presumivelmente reflete um fenômeno de subsuperfície. O termo *lineação* deve também ser aqui entendido no sentido proposto por aqueles autores, para designar um alinhamento estrutural, definido por uma linha ou arranjo delas, representando possivelmente uma característica intrínseca da rocha, a qual não pode ser representada como uma feição individual sobre um mapa geológico. Os significados geológicos dessas feições fotointerpretadas serão a seguir discutidos, em função dos dados levantados em campo (Seção 10.3).

a) Unidades Fotogeológicas

A delimitação fotogeológica do maciço Pedra Branca em relação às rochas encaixantes regionais pôde ser feita com relativa facilidade a partir da imagem do canal 7 realçada com *Contrast Stretch*. O domínio das rochas granitoides que formam o maciço é caracterizado por textura fotográfica mais *grosseira* que aquela observada na área das rochas metamórficas encaixantes, fruto de um processo de dissecação mais avançado atuante sobre as rochas graníticas. À exceção da borda este-nordeste, onde os limites do maciço com as encaixantes não são bem definidos, os demais contatos são fotogeologicamente bem estabelecidos. Eles podem ser feitos de duas maneiras: através de Limites fotogeológi

cos ou por Traços de Falhas. Ambos os tipos separam zonas da imagem com propriedades texturais e estruturais distintas; no segundo caso eles são fortemente estruturados e, assim, devem corresponder a traços de falhas, como será discutido mais adiante.

Além de individualizar o maciço Pedra Branca em relação às encaixantes, a interpretação da imagem permitiu diferenciar duas unidades fotogeológicas maiores dentro do domínio das rochas graníticas, as quais são indicadas na Figura 10.7 como unidades UGa e UGb.

A unidade fotogeológica UGa, a qual forma o corpo principal do maciço e o caracteriza em relação às encaixantes, reúne as áreas de ocorrências dos tipos heterogranular e equigranular. A imagem não mostra indicações que permitam a diferenciação fotogeológica entre essas duas fácies. Também no campo nem sempre essa diferenciação é fácil, sendo relativamente comum a ocorrência local de tipos heterogranulares associados a fácies equigranulares (Payolla et alii, 1983).

A segunda unidade fotogeológica reconhecida no interior do maciço Pedra Branca (UGb) é caracterizada por apresentar grau de dissecação mais avançado que aquele da unidade UGa, ocupando cotas topográficas ligeiramente mais rebaixadas. A unidade UGb predomina na porção centro-leste do maciço, onde forma um corpo grosseiramente circular, com diâmetro em torno de 5 km. Ela ocorre também na borda sudoeste do maciço onde forma um corpo igualmente circular, embora de menor diâmetro que o anterior. Os dados de campo mostram que esta unidade fotogeológica corresponde às áreas de ocorrências das fácies de granitos porfiríticos finos. A topografia mais rebaixada associada às áreas de ocorrências dessa litologia mostra efeitos da atuação de processos intempéricos e erosivos diferenciados sobre os tipos porfiríticos finos, em relação aos tipos heterogranular e equigranular. Birkeland (1974) mostra que rochas com maior quantidade de fenocristais intemperizam-se mais facilmente que suas correspondentes de granulação mais fina e mais homogênea, uma vez que a diminuição da área de superfície intergranular, com o aumento de tamanho dos constituintes minerais, fa

ilita o processo de desintegração da rocha. Ainda de acordo com esse autor, pode-se inferir que a evolução morfológica diferenciada dos tipos porfiríticos de matriz fina, em relação às outras fácies que compõem o maciço Pedra Branca, é favorecida não só pelas suas características texturais, mas também pela sua composição modal. O maior enriquecimento em plagioclásio nos tipos porfiríticos finos (Tabela 10.1) favorece a dissecação mais profunda das áreas ocupadas por esta fácies, uma vez que este mineral é mais susceptível ao ataque intempérico que o feldspato-K (Goldich, 1938 apud Birkeland, 1974).

b) Lineamentos e Lineações

Outra feição marcante observada na imagem LANDSAT na área do maciço Pedra Branca é a presença de extensos lineamentos fotogeológicos. Eles foram interpretados como representativos de possíveis traços de falhas e/ou fraturas do substrato rochoso, manifestando-se nas imagens de sensoriamento remoto através da cobertura vegetal. Embora apresentem extensões geralmente superiores a 10 km, esses lineamentos nem sempre aparecem de maneira contínua na imagem. Em geral são constituídos por segmentos tonais alinhados que juntos compõem uma feição maior. Nota-se uma predominância mais acentuada na área do maciço, embora muitos desses lineamentos cortem tanto o maciço quanto as rochas encaixantes. Não se têm informações de campo que permitam caracterizar a natureza geológica da maioria dos grandes lineamentos assinalados nas imagens de satélite. Para alguns deles os dados de campo confirmam tratar-se de falhamentos, para outros esses dados não são conclusivos. No entanto, dada a forte expressão fotogeológica desses lineamentos e sua distribuição cortando ou limitando o maciço granítico, eles muito provavelmente devem corresponder a traços de falhas, nem sempre constatados a nível de observação de campo, devido ao profundo intemperismo, às coberturas sedimentares e à vegetação. Dentre eles merece destaque o padrão orientado segundo N60-70E, cujo principal representante é o falhamento que controla os cursos dos igarapês Bom Futuro do Sul e Catuqui do Norte, associado ao qual ocorrem frequentes veios de quartzo e corpos de greisens (Payolla et alii, 1983). Quanto aos lineamentos

fotogeológicos orientados segundo N50-60W, estes autores reconheceram em campo um padrão de juntas e de micro falhas subordinadas àquela orientação, às quais os lineamentos devem estar relacionados.

Os limites fotogeológicos nas bordas sudoeste e sudeste do maciço são marcados por extensos lineamentos que devem corresponder aos falhamentos que serviram à colocação do corpo granítico, como assinalados na Figura 10.7.

Sob a denominação de *lineação* enquadraram-se aqui as feições lineares de menor extensão que ocorrem formando padrões cerrados em áreas mais restritas. Elas desenvolvem-se tanto no domínio das rochas graníticas quanto das encaixantes, subordinadas a dois grandes lineamentos orientados segundo N5-10W. Essas feições foram interpretadas como traços de foliação cataclástica ligadas a zonas de cisalhamentos ao longo dos grandes falhamentos de orientação próxima a norte-sul que cortam indistintamente o maciço e as rochas encaixantes.

Sob a denominação de *Feições Anelares* enquadraram-se certas feições que possuem as mesmas características fotogeológicas dos lineamentos anteriormente discutidos, distinguindo-se destes por apresentarem padrão semi-anelar. Elas ocorrem tanto no domínio das rochas graníticas quanto das encaixantes. Não há informações de campo que permitam assegurar a natureza geológica dessas feições, embora na borda norte do maciço uma delas tenha sido interpretada como representativa de um dique semi-anelar de granito porfirítico fino, separando tipos heterogranulares de tipos equigranulares.

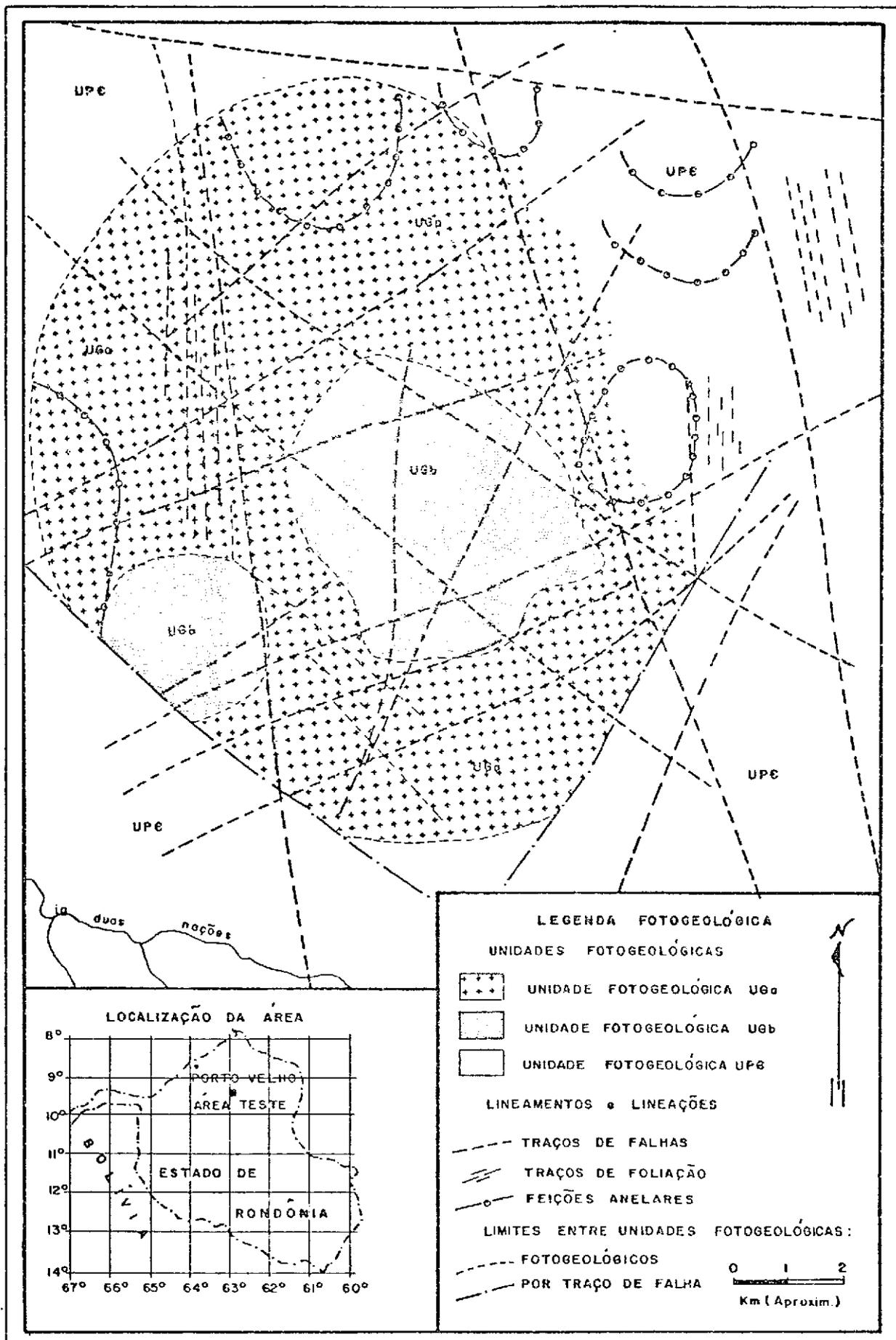


Fig. 10.7 - Mapa fotogeológico do maciço Pedra Branca a partir de imagem LANDSAT.

10.5 - MAPA GEOLÓGICO DO MACIÇO A PARTIR DA INTEGRAÇÃO FINAL DOS DADOS

A integração final dos dados levantados em campo com as informações extraídas da imagem LANDSAT permitiu a elaboração do mapa geológico do maciço Pedra Branca, mostrado na Figura 10.8.

Como indicado a partir da interpretação da imagem LANDSAT, e confirmado pelos dados de campo, o maciço possui forma grosseiramente circular, com diâmetro médio em torno de 13 km. Os contatos do maciço com as rochas encaixantes regionais, no entanto, raramente podem ser observados em campo. Eles foram traçados a partir de evidências fornecidas pelas imagens, ou inferidos a partir de dados de campo. A presença de lineamentos fotogeológicos fortemente estruturados nas bordas sudoeste, sudeste e nordeste do maciço, levou à interpretação de contatos por falhas com as encaixantes nesses locais. Os demais contatos com as encaixantes são considerados como normais, tendo sido traçados também a partir de inferências fotogeológicas.

Os endo-contatos entre os tipos faciológicos observados no interior do maciço Pedra Branca foram também traçados a partir de evidências fotogeológicas, ou interpolados a partir de dados de campo. Assim, os contatos entre os tipos equigranulares e heterogranulares, os quais não mostram evidências nas imagens, foram inferidos a partir de afloramentos catalogados em campo. Trecho desse contato, no entanto, coincide em parte com um extenso lineamento observado através da imagem de sensoriamento remoto, e por isso, foi inferido como feito por falha.

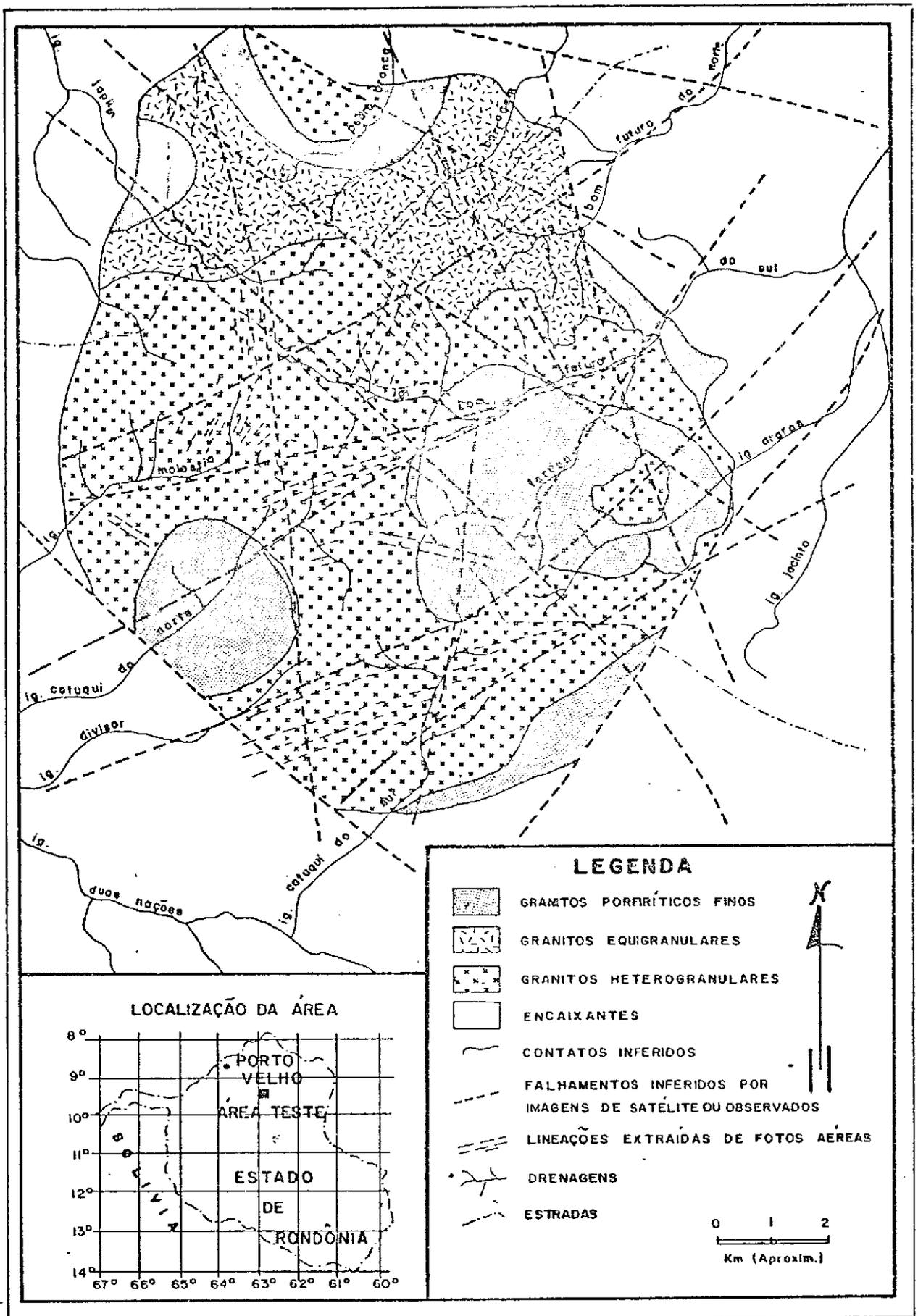


Fig. 10.8 - Mapa geológico do maciço Pedra Branca a partir da integração de dados de campo e da imagem LANDSAT.

A distribuição das áreas maiores ocupadas pelos tipos porfiríticos finos no interior do maciço Pedra Branca foi definida a partir da imagem LANDSAT, tendo como parâmetros de diferenciação suas características fotogeológicas já discutidas anteriormente. Essa fácies predomina na parte centro-leste do maciço, onde forma um corpo grosseiramente circular, com diâmetro médio em torno de 5 km, e na sua extremidade sudoeste, também definindo um corpo circular com diâmetro de 2 km. Além dessas duas áreas principais, os tipos porfiríticos finos ocorrem ainda em áreas mais restritas nas bordas do maciço, possivelmente formando diques (Payolla et alii, 1983). Nesses locais eles não possuem expressão fotogeológica na imagem e, assim, seus contatos foram inferidos a partir de dados de campo. Na extremidade norte do maciço foi inferido um dique semi-anelar de granito porfirítico fino, a partir de dois afloramentos que ocorrem ao longo de uma feição fotogeológica também de formato semi-anelar, classificada no mapa da Figura 10.7 na categoria de *Feições Anelares*. Esta estrutura separa áreas de ocorrências de tipos heterogranulares e equigranulares.

Ao nível dos conhecimentos atuais, os dados não permitem ainda estabelecer o papel de cada uma das fácies graníticas e das estruturas mapeadas no que diz respeito à importância delas, no controle da mineralização primária no maciço Pedra Branca. Isto talvez só possa ser atingido através do estudo de um maior número de maciços geoquimicamente especializados dentro da Província Estanífera de Rondônia.

10.6 - FOTOGRAFIAS AÉREAS E IMAGENS DE RADAR

10.6.1 - FOTOGRAFIAS AÉREAS

A Figura 10.9 mostra uma fotografia aérea, na escala original de 1:25.000, cobrindo parcialmente o maciço Pedra Branca. Além dos fatores naturais que limitam a fotointerpretação em condições amazônicas, com ênfase especial à floresta tropical, merecem destaque ainda os seguintes aspectos, inerentes às fotografias aéreas, os quais são também limitantes ao seu emprego naquela região: (a) são em geral

obtidas em horários próximos ao meio dia, sob altos ângulos de elevação solar, mostrando, portanto, poucos efeitos de sombreamentos; (b) não permitem uma visão de conjunto de toda a área de interesse e (c) são produtos de baixa resolução espectral.

As fotografias aéreas que cobrem o maciço Pedra Branca não mostram evidências texturais indicativas das variações faciológicas associadas às rochas graníticas do maciço, como assinaladas pela imagem LANDSAT. São evidentes nas fotografias aéreas, no entanto, feições lineares, quase nunca maiores que 1 km, definidas pelo alinhamento de árvores. Essas lineações subordinam-se, preferencialmente, aos grandes lineamentos observados através das imagens orbitais, muitos constatados no campo como falhamentos. Confirma-se, assim, o controle local da vegetação por planos de fraqueza da rocha, refletidos através do manto de regolito e da cobertura vegetal.

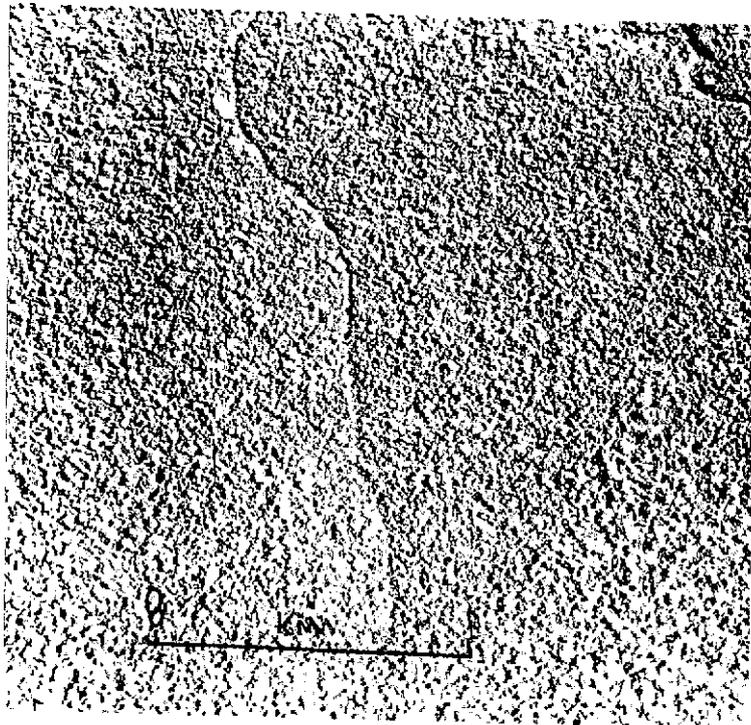


Fig. 10.9 - Fotografia aérea cobrindo parcialmente o maciço Pedra Branca.

10.6.2 - IMAGENS DE RADAR

A Figura 10.10 é a imagem de RADAR que cobre a área do maciço Pedra Branca, obtida a partir de mosaico na escala original de 1:250.000. Na faixa de comprimento de onda (3,2 cm) correspondente às imagens obtidas pelo Projeto RADAMBRASIL, a cobertura vegetal funciona como uma superfície rugosa, refletindo o sinal. Este, como discutido na Seção 3.1.2, não traz informações diretas sobre as características espectrais dos alvos e registra basicamente os efeitos do choque mecânico da frente de ondas com a copa das árvores. Assim, as imagens de RADAR não assinalam as variações texturais sutis observadas na área do maciço através da imagem LANDSAT. A junção das faixas de voo de orientação N-S, para compor o mosaico, cria descontinuidade na cena, prejudicando a qualidade do produto.

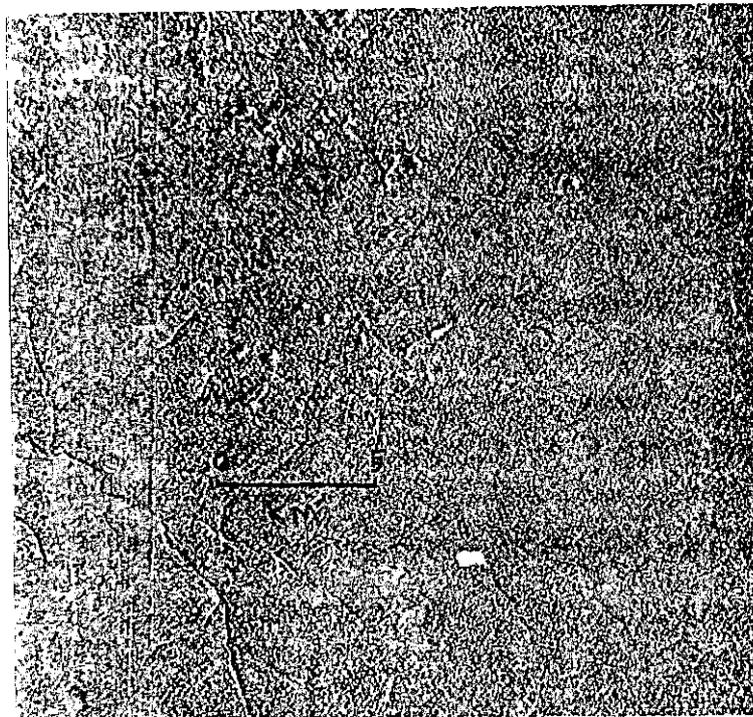


Fig. 10.10 - Imagem de RADAR cobrindo a área do maciço Pedra Branca.

10.7 - RELEVÂNCIA DO MÉTODO COMO SUBSÍDIO À PESQUISA MINERAL NAS CONDIÇÕES DA AMAZÔNIA

A Amazônia Brasileira cobre uma área de cerca de 4,5 milhões de km², ainda muito pouco conhecidos do ponto de vista geológico. Dadas às condições peculiares dessa ampla região, talvez a característica mais marcante dos trabalhos geológicos ali desenvolvidos seja o alto custo da pesquisa. A colocação de um geólogo no campo requer a implantação de uma ampla infra-estrutura de suporte.

A floresta tropical é o fator natural mais limitante ao desenvolvimento normal dos trabalhos geológicos na Amazônia. Sob essas condições, a utilização de fotografias aéreas é fortemente prejudicada, uma vez que a cobertura vegetal geralmente mascara o registro das feições superficiais do terreno, inibindo, assim, os recursos da fotointerpretação clássica. A ausência de um mapa fotogeológico preliminar no início dos trabalhos leva, conseqüentemente, a um maior prolongamento da etapa de campo. Esta, por outro lado, só pode ser desenvolvida ao longo de rios e igarapês, ou através de picadas abertas na floresta. A quantidade de informações geológicas obtidas nessas campanhas nem sempre são satisfatórias. O clima quente e úmido da região favorece o profundo intemperismo químico das rochas, sendo raros os afloramentos. A ausência de bons afloramentos é ainda agravada pela presença constante de coberturas sedimentares desenvolvidas durante as flutuações climáticas ocorridas no Quaternário. A baixa qualidade das fotografias aéreas decorrentes dos fatores naturais acima mencionados, aliada a ausência de mapas plano-altimétricos, dificulta a amarração, extrapolação e integração das escassas informações geológicas pontuais obtidas em campo.

Diante deste quadro de dificuldades naturais impostas à pesquisa mineral nas condições de Rondônia e da Amazônia de um modo geral, torna-se imperativa a busca de novos métodos indiretos que visem orientar e otimizar os trabalhos de campo nessa Região. Isto se torna mais verdadeiro a medida que novos depósitos de Sn e mineralizações as

sociadas de W, Ta, Nb, Li, F, etc., além de ouro, vêm sendo seguidamente descobertos em várias regiões do Cráton Amazônico, associados a várias suítes de rochas graníticas como Mapuera, Surucucus, Maloquinha, Abonari, Velho Guilherme, Teles Pires, Serra da Providência, além de Rondônia.

O sensoriamento remoto orbital, através da utilização de imagens multiespectrais na forma de fitas magnéticas com a utilização de computadores, é um dos métodos mais promissores no auxílio às etapas iniciais dos trabalhos de campo naquela região, como ficou constatado no estudo do maciço Pedra Branca, cuja abordagem pode ser aplicada ao estudo de outras áreas semelhantes de Rondônia e da Amazônia.

No estudo do maciço Pedra Branca, os dados de campo mostraram que as zonas homólogas de textura observadas através das imagens do canal 7 correspondiam a variações faciológicas do maciço. Muitos dos contatos litológicos entre essas fácies não poderiam ter sido traçados sem a utilização da imagem LANDSAT, uma vez que o pequeno número de afloramentos e a baixa eficácia das fotografias aéreas dificultam a integração e extrapolação das informações pontuais levantadas em campo. A visão integrada de uma extensa área propiciada pelas imagens orbitais realçadas por computador favorece ainda a observação de um grande número de falhamentos que cortam o maciço, os quais podem constituir importantes metalotectos da mineralização primária na região.

Os dados obtidos na área teste de Pedra Branca mostram que, mesmo sob todas as limitações impostas pela floresta tropical, pelo profundo manto de intemperismo e pelas coberturas sedimentares quaternárias, é possível obter informações acerca da litologia e da estruturação interna desses maciços através das imagens de sensoriamento remoto orbital. Na medida que, com o avanço dos conhecimentos geológicos, através do estudo de um maior número de maciços geoquimicamente especializados, for possível o estabelecimento de relações espaciais entre mineralizações, fácies petrográficas e estruturação interna desses maciços graníticos, a diferenciação de litotipos nesses corpos com o auxílio de imagens orbitais será de grande utilidade prática para objetivos mineiros.

PARTE IV - CONCLUSÕES GERAIS

CAPÍTULO 11

CONCLUSÕES GERAIS

Da pesquisa empreendida podem ser delineadas as seguintes conclusões básicas:

- As imagens multiespectrais do MSS-LANDSAT, na forma de fitas magnéticas compatíveis com computador, mostraram ser uma ferramenta de grande potencial para auxílio aos métodos tradicionais de prospecção geológica. A sua utilização adequada, nas etapas iniciais da pesquisa geológica, pode levar ao selecionamento de áreas-alvos preferenciais, onde os trabalhos a nível de campo devem se concentrar, resultando, daí, economias razoáveis de tempo e de recursos.
- Para atingir os objetivos acima a análise e interpretação de dados de sensoriamento remoto devem ser feitas de maneira integrada, levando em consideração os múltiplos aspectos envolvidos no processo de coleta dos dados pelo sistema sensor. São parâmetros básicos de análise e interpretação dessas imagens: (a) as características fisiográficas da área de estudo (conduzidas basicamente pelo clima que modelarão a intensidade e os tipos de alteração das rochas e o caráter da cobertura vegetal); (b) as características geológicas do alvo pesquisado (comportamentos espectrais do conjunto rocha-solo-vegetação); (c) o papel desempenhado pelas variáveis sazonais (cobertura vegetal e condições de iluminação da cena); (d) as características do sistema sensor (resoluções espacial, espectral e radiométrica); e (e) as técnicas de tratamento de imagens digitais por computador (escolha dos algoritmos mais adequados para realçar as características espectrais dos alvos e minimizar as informações espúrias contidas no dado gravado pelo sistema sensor).

- Na Província Estanífera de Goiás a utilização de imagens digitais/multiespectrais do MSS-LANDSAT, levando em consideração todos os aspectos acima mencionados, permitiu a discriminação espectral de todas as áreas de ocorrências de rochas metassomáticas, ligadas a processos de greisenização (*lato sensu*), no interior de corpos graníticos dessa Província. O parâmetro básico que permitiu esta discriminação foi o comportamento espectral diferenciado das associações de solo-vegetação, específicas a estas áreas de greisenização. Trabalhos futuros de prospecção mineral nos maciços analisados devem se restringir a essas áreas alvos, as quais, juntas, perfazem menos de 10% da área total dos corpos graníticos.

- Na Província Estanífera de Rondônia o emprego de sensoriamento remoto não pode visar a discriminação espectral direta de litotipos específicos. A floresta tropical, as coberturas sedimentares quaternárias e o profundo intemperismo químico não permitem que os sistemas sensores captem informações diretas do conjunto rocha-solo. Os dados obtidos na área teste do maciço Pedra Branca (Bom Futuro) permitem concluir, no entanto, que, mesmo sob aquelas condições, as imagens LANDSAT realçadas por computador são uma ferramenta de inestimável valor na orientação aos trabalhos de campo. Mesmo em uma área profundamente erodida, como no maciço Pedra Branca, elas mostraram os traços geológicos principais e a estruturação interna do maciço, feições estas não observadas através de fotografias aéreas ou de imagens de RADAR. Na medida em que for possível, através do estudo de um maior número de maciços geoquimicamente especializados, o estabelecimento de relações espaciais entre mineralizações, fácies petrográficas e estruturação interna desses maciços, a utilização de imagens orbitais será de grande utilidade prática para objetivos mineiros na região.

- Embora o estudo tenha sido dirigido ao caso específico de mineralizações estaníferas, a abordagem metodológica desenvolvida

pode também ser empregada no auxílio à pesquisa de outros tipos de depósitos, desde que estes possuam alguma manifestação superficial indireta. A disponibilidade, em futuro breve, de dados de sensoriamento remoto orbital mais aperfeiçoados, como aqueles que serão gerados pelos satélites LANDSAT-4 e SPOT, abre ampla perspectiva à utilização ainda mais eficiente de tais dados no auxílio à exploração mineral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMS, M.J.; ASHLEY, R.P.; ROWAN, L.C.; GOETZ, A.F.H.; KAHLE, A.B. Mapping of hydrothermal alteration in Cuprite Mining District, Nevada, using aircraft scanner images for the spectral region 0.46 to 2,36 μm . *Geology*, 5(12):713-718, 1977.
- AB'SABER, A.Z. Províncias geológicas e domínios morfoclimáticos no Brasil. *Geomorfologia*, n.20, 1970. 26 p.
- ALLEN, W.A.; RICHARDSON, A.J. Interaction of light with a plant canopy. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 5., Ann Arbor, MI, 1968. *Summaries*. Ann Arbor, MI. Environm. Research Institute of Michigan, 1968, p. 17-20.
- ALMEIDA, F.F.M. Observações sobre o Pré-Cambriano da região central de Goiás. *Boletim Paranaense de Geociências*, (26):19-22, 1967.
- ALMEIDA FILHO, R. Discriminação espectral de 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, 1982a. *Anais*. Salvador, SBG, 1982a, v. 4, p. 1765-1773.
- Importância das análises de dados multiazonais de sensoriamento remoto em geologia. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 2., Brasília, 1982b. 6 p.
- ALMEIDA FILHO, R.; PARADELLA, W.R.; PEQUENO, V.S. *Identificação de áreas de argila na região das cabeceiras do rio Claro-MG, através de Análise automática de dados do LANDSAT*. São José dos Campos, INPE, 1976. 18 p. (INPE-964-NTE/73).
- ALMEIDA FILHO, R. VITORELLO, I. Enhancement of digital images through band ratio techniques for geological applications. *Cogeodata - IAMG Shouth America Meeting*. Rio de Janeiro, 1981, 15 p.
- ANDRADE, G.F. *As mineralizações de estanho, berilo e cobre do granito da Serra Branca, Cavalcante-GO*. Dissertação de Mestrado. Brasília, Universidade de Brasília, Depart. de Geociências, Brasília, 1978.

- ANDRADE, G.F.; DANNI, J.C.M. As mineralizações de estanho, berilo e cobre do granito da Serra Branca, Cavalcante-GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. *Anais*. Recife, SBG, 1978, v. 6, p. 2579-2593.
- ARAÚJO, V.A.; ALVES, A.C. *Projeto Canabrava - Porto Real*; relatório final. Convênio Departamento Nacional da Produção Mineral/Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais, Goiânia, CPRM, 1979. v. 1.
- BARBOSA, O.; BAPTISTA, M.B.; CARTNER-DYER, R.; BRAUN, G.P.G.; COSTA, J.C. *Geologia e inventário dos recursos minerais do Projeto Brasília*. Convênio Departamento Nacional da Produção Mineral/Prospec. Rio de Janeiro, Prospec, 1969.
- BETTENCOURT, J.S. *Comentários sobre a geologia de Rondônia*. Porto Velho, 1983. Comunicação pessoal a R. Almeida Filho, em 25 jan. 1983.
- BETTENCOURT, J.S.; DAMASCENO, E.C.; FONTANELLI, W.S.; FRANCO, J.R.M.; PEREIRA, N.M. Brazilian tin deposits and potential. *World Conference on Tin*, 5., Kuala Lumpur, 1981, 69 p. (Paper 3).
- BIRKELAND, P.W. *Pedology, weathering, and geomorphological research*. New York, Oxford University Press, 1974.
- BIRNIE, R.W.; FRANCICA, J.R. Remote detection of geobotanical anomalies related to porphyry copper mineralization. *Economic Geology*, 76(3):637-647, 1981.
- BLODGET, H.W.; GUNTHER, F.J.; PODWYSOCHI, M.H. *Discrimination of rocks classes and alterations products in Southwestern Saudi Arabia with computer-enhanced LANDSAT data*. Washington, DC, NASA, 1978. (NASA, Technical Paper, 1327).
- BLOM, R.G.; ABRAMS, M.J.; ADAMS, H.G. Spectral reflectance and discrimination of plutonic rocks in the 0.45 to 2.45 μm region. *Journal of Geophysical Research*, 85(B5):2638-2648, 1980.
- BØLVIKEN, B.; HONEY, F.; LEVINE, S.R.; LYON, R.J.P.; PRELAT, A. Detection of naturally heavy-metal poisoned areas by LANDSAT-1 data. *Journal Geochemical Exploration*, 8(1/2):475-471, 1977.

- BRASIL. Ministério do Exército (MEx). Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). *Folha SD.23-V-C-II, Porto Real, Goiás*. [Rio de Janeiro], 1976a.
- *Folha SD.23-V-C-III, Monte Alegre de Goiás, Goiás*. [Rio de Janeiro], 1976b.
- *Folha SD.23-V-C-V, Cavalcante, Goiás*. [Rio de Janeiro], 1976c.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia (MME). Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). *Mapa Geológico do Brasil e da área oceânica incluindo depósitos minerais*; escala 1:2.500.000, s.N.T., 1981.
- BRAUN, O.P.G. Contribuição à estratigrafia do grupo Bambuí. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 22., Belo Horizonte, 1968. *Anais*. Belo Horizonte, SBG, 1968, p. 155-166.
- BREMER, H. Der formungsmechanismus im tropischen regenwald Amazoniens. *Zeitschrift für Geomorphologie*, N.F. Sup., 17(2):195-222, 1973.
- BROOKS, R.R. *Geobotany and biogeochemistry in mineral exploration*. New York, Harper & Row, 1972. (Harper's Geoscience Series).
- COLLINS, W. Analysis of airborne spectroradiometric data and the use of LANDSAT data for mapping hydrothermal alteration. *Geophysics*, 43(5):967-987, 1978.
- COLWELL, R.N.; BREWER, G.; LANDIS, P.; LANGLEY, J.; MORGAN, J.; RINKER, J.; ROBINSON, J.M.; SOREM, A.L. Basic matter and energy relationships involved in remote sensing. *Photogrammetric Engineering*, 29(5):761-799, 1963.
- CONDIT, H.R. The spectral reflectance of American soils. *Photogrammetric Engineering*, 36(9):955-964, 1970.
- COSTA, L.M. *Surface soil color and reflectance as related to physico-chemical and mineralogical soil properties*. Doctoral Thesis. Columbia, University of Missouri, 1979. 155 p.
- COULSON, K.L.; BOURICIUS, G.M.; GRAY, E.L. Optical reflection properties of natural surfaces. *Journal of Geophysical Research*, 70(18):5601-4611, 1965.

- CUNHA, S.B.; MACHADO, M.B.; MOUSINHO, M.R. Drainage basin morphometry on deeply weathered bedrocks. *Zeitschrift Geomorphologie*, 19(2): 125-139, 1975.
- DANNI, J.C.M.; FUCK, R.A.; LEONARDOS, O.H. Archaean and Low Proterozoic units in Central Brasil. *Geologische Rundschau*, 71(1): 291-317, 1982.
- DAVIS, M.S.; LEVANDOWSKI, D.W. *Applications of remote sensing in geology*. Purdue Research Foundation, West Lafayette, 1976. (Minicourse Series on the Fundamentals of Remote Sensing).
- EGBERT, D.D.; ULABY, F.T. Effect of angles on reflectivity. *Photogrammetric Engineering*, 38(6):556-564, 1972.
- GENDEREN, J.L. A integrated resources study using orbital imagery: an example in Southeast Spain. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, 1972. *Proceedings*. Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, 1972, v. 1, p. 117-136.
- GENERAL ELECTRIC *Image-100 user manual*. Daytona Beach, Fl., 1975, 119 p.
- GILLESPIE, A.R. Digital techniques of image enhancement. In: SIEGAL, B.S.; GILLESPIE, A.R. *Remote Sensing in Geology*. New York, John Wiley, 1980, cap. 6, p. 139-226.
- GIRARDI, V.A.V.; KAWASHITA, K.; BASEI, M.A.S.; CORDANI, U.G. Algumas considerações sobre a evolução geológica da região de Cana Brava, a partir de dados geocronológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. *Anais*. Recife, SBG, 1978, v. 1, p. 337-348.
- GROOTENBOER, J. The influence of seasonal factors on the recognition of surface lithologies from ERTS-imagery of the Western Transvall. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3., Washington, 1973. *Proceedings*, Washington, NASA, 1973, v. 1, p. 643-655.
- GUERRA, S.M.S. Notas prēvias do Projeto Rondônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. *Anais*. Recife, SBG, v. 1, p. 139-146.

- HACKMAN, R.J. Time, shadows, terrain and photointerpretation. *Geological Survey Prof. Paper*, (575-B):B155-B160, 1967.
- HARALICK, R.M.; SHANMUGAN, K.S. Combined spectral and spatial processing of ERTS imagery data. *Remote Sensing of Environment*, 3(1):3-13, 1974.
- HASUI, Y.; TASSINARI, C.G.C.; SIGA JR., O.; TEIXEIRA, W.; ALMEIDA, F.F.M.; KAWASHITA, K. Datações Rb-Sr e K-Ar do Centro Norte do Brasil e seu significado geológico-geotectônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. *Anais. Camboriú, SBG*, 1980, v. 5, p. 2659-2667.
- HEMPHILL, W.R.; DANILCHICK, W. Geologic interpretation of a Gemini photo. *Photogrammetric Engineering*, 34(2):150-154, 1968.
- HERWITZ, S.R. Landforms under a tropical wet forest cover on the Osa Peninsula, Costa Rica. *Zeitschrift Geomorphologie*, 25(3):259-270, 1981.
- HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P.; DAVIS, S.M. *Remote Sensing: The Quantitative Approach*. New York, McGraw-Hill, 1978. cap. 5, p. 227-289.
- HOVIS, W.W. Infrared spectral reflectance of some common minerals. *Applied Optics*, 5(2):245-248, 1966.
- HOWARD, J.A. Concepts of integrated satellite survey. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE, 3., Washington, 1973. *Proceedings*, Washington, NASA, 1973, v. 1, p. 523-531.
- HOWARD, J.A.; WATSON, R.D.; HESSIN, T.D. Spectral reflectance properties of Pinus Ponderosa in relation to copper content of the soil-Malachite Mine, Jefferson County, CO. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 7., Ann Arbor, 1971. *Proceedings*. Ann Arbor, Environmental Research Institute of Michigan, 1971, v. 1, p. 285-298.
- HUNT, G.R. Spectral signature of particulate minerals in the visible and near infrared. *Geophysics*, 42(3):501-513, 1977.

- HUNT, G.R. Electromagnetic radiation: the communication link in remote sensing. In: SIEGAL, B.S.; GILLESPIE, A.R. *Remote Sensing in Geology*. New York, John Wiley, 1980, cap. 2, p. 5-45.
- Near-infrared (1.3-2.4 μm) spectra of alteration mineral-potential for use in remote sensing. *Geophysics*, 44(12):1974-1986, 1979.
- HUNT, G.R.; ASHLEY, R.P. Spectra of altered rocks in the visible and near infrared. *Economic Geology*, 74(12):1613-1629, 1979.
- HUNT, G.R.; SALISBURY, J.W. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: I silicate minerals. *Modern Geology*, 1(3): 283-300, 1970.
- Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: XII metamorphic rocks. *Modern Geology*, 5(4):219-228, 1976.
- 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(1):15-22, 1974.
- ISOTTA, C.A.L.; CARNEIRO, J.M.; KATO, H.T.; BARROS, R.J.L. *Projeto Província Estanífera de Rondônia*; relatório final. Convênio Departamento Nacional da Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Porto Velho, CPRM, 1978.
- KLOOSTERMAN, J.B. A twofold anomaly between the Nigerian and Amazonian Provinces. *Technical Conference on Tin*, 2., Bang-Kok, 1970, 28 p.
- Granites and rhyolites of São Lourenço: a volcano-plutonic complex in Southern Amazônia. *Engenharia, Mineração e Metalurgia*, 44(262):169-171, 1966.
- Ring structure in the Oriente and Massangana granite complexes, Rondônia, Brasil. *Engenharia, Mineração e Metalurgia*, 45(266): 73-77, 1967.
- Uma província do Tipo Nigeriano no sul da Amazônia. *Engenharia, Mineração e Metalurgia*, 47(278):161-168, 1968.

- KOWALIK, W.S. *Atmospheric correction to LANDSAT data for limonite discrimination*. Doctoral Thesis. Stanford University, Applied Earth Sciences Depart., 1981.
- KRISTOF, S.J.; ZACHARY, A.L. Mapping soil features and multispectral scanner data. *Photogrammetric Engineering*, 40(12):1427-1434, 1974.
- KUHLMANN, E. Vegetação. In: IBGE. *Geografia do Brasil-Região Norte*. Rio de Janeiro, 1977. vol. 1, p. 59-94.
- LEAL, J.W.L.; SILVA, G.H.; ABREU, A.S.; LIMA, M.I.C. Granito Serra da Providência. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. *Anais*. Ouro Preto, SBG, 1976, v. 4, p. 59-74.
- LEAL, J.W.L.; SILVA, G.H.; SANTOS, D.B.; TEIXEIRA, W.; LIMA, M.I.C.; FERNANDES, C.A.C.; PINTO, A.C. Geologia. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. *Folha SC.20 Porto Velho*. Rio de Janeiro, 1978, p. 19-184. (Levantamento de Recursos Naturais, 16).
- LEFÈVRE, M.J. Télédétection et anomalies géochimiques à Echassières (Allier, France). *Chronique de la Recherche Minière*, (453):41-63, 1980.
- LINTZ, Jr., J.; SIMONETT, D.S. (Ed.) *Remote Sensing of Environment*. Reading, MA., Addison-Wesley, 1976.
- LÖFFLER, E. Tropical rainforest and morphogenetic stability. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 21(3):251-261, 1977.
- LOWMAN Jr., P.D. *Geological applications of orbital photography*. Washington, DC. National Aeronautics and Space Administration, 1967, 37 p. (NASA, Technical Note, D-4155).
- Geologic orbital photography experience from the Gemini Program. *Photogrammetria*, 24(3/4):77-106, 1969.
- LYON, R.J.P. Correlation between ground metal analysis, vegetation reflectance, and ERTS brightness over a molybdenum skarn deposit, Pine Nut Mountains, Western Nevada. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, MI, 1975a. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, Environmental Research Institute of Michigan, 1975, v. 2, p. 1031-1044.

- LYON, R.J.P. Mineral exploration applications of digitally processed LANDSAT imagery. In: ANNUAL WILLIAM T. PECORA MEMORIAL SYMPOSIUM, Sioux Falls, 1975b. *Proceedings*. Sioux Falls, USGS, 1975, p. 271-292. (Geological Survey Professional Paper, 1115).
- MARINE, O.J.; FUCK, R.A. A formação Minaçu: estratigrafia, tectônica e metamorfismo. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 1., Goiânia, 1981. *Atas*. Goiânia, SBG - Núcleo Centro Oeste, 1981, p. 716-744.
- MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DANNI, J.C.M.; DARDENNE, M.A. A evolução geotectônica da Faixa Brasília e do seu Embasamento. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO E SUAS FAIXAS MARGINAIS, Salvador, 1981. *Anais*. Salvador, SBG - Núcleo da Bahia e Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, 1981, p. 100-115.
- MARINI, O.J.; FUCK, R.A.; DARDENNE, M.A.; FARIA, A. Contribuição à geologia do Pré-Cambriano da porção central de Goiás. *Revista Brasileira de Geociências*, 7(4):304-324, 1977.
- MARINI, O.J.; LIBERAL, G.S.; REIS, L.T.; TRINDADE, C.A.H.; SOUSA, S.L. Nova unidade litoestratigráfica do Pré-Cambriano do estado de Goiás. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. *Resumo dos Trabalhos*. Recife, SBG, 1978, p. 126-127, bol. 1.
- MARQUES, V.J.; OHOFUGI, W.; CARVALHO, L.M.; ARMINDO Jr., J. Nota sobre os depósitos estaníferos da Serra Branca, Cavalcante-GO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 27., Aracaju. *Anais*. Aracaju, SBG, 1973, v. 1, p. 161-166.
- MELLO, F.A.H.; BRASIL SOBRINHO, M.O.C.; ARZOLLA, S.; COBRA NETTO, A.; SILVEIRA, R.I. *Fertilidade, fertilizantes e fertilização do solo*. Piracicaba, Editora Luiz de Queiróz, 1975.
- MILEWSKI, J.P.; PAMPLONA, R.; OSTRONOFF, C.; SARMENTO, C.E.M. Excursão nº 7: região de Cana Brava. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 24., Brasília, 1970. *Roteiro das Excursões*. Brasília, SBG, 1970, p. 115-130, bol. esp. 1.

- MINERAÇÃO ORIENTE NOVO S.A. *Mapas de pontos de amostragem; projeto Monte Alegre de Goiás, bloco I, área Porto Real. Escala 1:50.000 (s.N.T.), inédito.*
- MOHR, H.E.C.M. Geological interpretation of hyperaltitude photographs from Gemini spacecraft. *Photogrammetria*, 24(3/4):167-174, 1969.
- MOORE, H.D.; GREGORY, A.F. A study of the temporal changes recorded by ERTS and their geological significance. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE, 3., Washington, 1973. *Proceedings*. Washington, NASA, 1973, v. 1, p. 845-854.
- MORRISON, A.; CHOWN, M.C. Photographs of the Western Sahara from Mercury MA-4 satellite. *Photogrammetric Engineering*, 31(2):350-362, 1965.
- MYERS, V.I. Soil, water, and plant relations. In: *Remote sensing with special reference to agriculture and forest*. Washington, DC, National Acad. Sciences, 1970. cap. 6, p. 251-297.
- NASA, *Earth resources technology satellite, data users handbook*. Greenbelt, MA, 1976. (Doc. nº 76SDS4258).
- NIMER, E. Clima. In: IBGE. *Geografia do Brasil-região Centro-Oeste*. Rio de Janeiro, 1977a, vol. 4, p. 35-58.
- Clima. In: IBGE. *Geografia do Brasil-região Norte*. Rio de Janeiro, 1977b, vol. 1, p. 39-58.
- OLADE, M.A. Geochemical characteristics of Tin-bearing and Tin-barren granites, Northern Nigeria. *Economic Geology*, 75(1):71-82, 1980.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, 87(10):1463-1469, 1976.
- PADILHA, J.L.; LAGUNA, A.M.G. Geologia dos granitos da Pedra Branca, Mocambo, Mangabeira e Serra dos Mendes. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO CENTRO-OESTE, 1., Goiânia, 1981. *Atas*. Goiânia, SBG - Núcleo Centro-Oeste, 1981, p. 622-641.
- PAGGOTO, G.A. *Comentários sobre aspectos geológicos do maciço Serra dos Mendes*. Monte Alegre de Goiás, 1981. Comunicação pessoal a R. Almeida Filho em 16 set. 1981.

- PARADELLA, W.R.; ALMEIDA FILHO, R. Condicionamento das mineralizações radioativas no Planalto de Poços de Caldas, baseado em imagens MSS do LANDSAT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29., Ouro Preto, 1976. *Anais*. Ouro Preto, SBG, 1976, v. 3, p. 181-190.
- PARADELLA, W.R.; MENESES, P.R.; MATTOSO, S.Q. Interpretação automática de dados do LANDSAT na pesquisa da ilmenita de Floresta, Pernambuco. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2., Gravatal, 1979. *Anais*. Gravatal, Departamento Nacional de Produção Mineral, 1979, p. 307-317.
- PAYOLLA, B.L.; PINHO, D.G.; TREIN, H.A. *Relatório parcial do maciço Pedra Branca*. São Paulo, Mineração Oriente Novo, 1983, 44 p. inédito.
- PROST, G. Alteration mapping with airborne multispectral scanners. *Economic Geology*, 75(6):894-906, 1980.
- RAINES, G.L.; CANNEY, F.C. Vegetation and geology. In: SIEGAL, B.S.; GILLESPIE, A.R. *Remote sensing in geology*. New York, NY, John Wiley, 1980, cap. 12, p. 365-380.
- RAINES, G.L.; OFFIELD, T.W.; SANTOS, E.S. Remote sensing and subsurface definition of facies and structure related to uranium deposits, Powder River Basin, Wyoming. *Economic Geology*, 73(8): 1706-1723, 1978.
- RAINES, G.L.; WYNN, J.C. Mapping of ultramafic rocks in a heavily vegetated terrain using LANDSAT data. *Economic Geology*, 77(7): 1755-1761, 1982.
- REEVES, R.G.; ANSON, A.; LANDEN, D. (Edit.) *Manual of remote sensing*. Falls Church, American Society of Photogrammetry, 1975.
- REIS NETO, J.M. *Geocronologia dos granitos da região Centro-Oeste*. Seminários Gerais no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2º semestre, 1980, 13 p. manuscrito.
- RIBEIRO FILHO, W.; TEIXEIRA, N.A. Sequência vulcano-sedimentar da borda oeste dos complexos de Niquelândia e Cana Brava. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Geologia*, Núcleo Centro-Oeste, (10):157-177, 1981.

- RIO DOCE GEOLOGIA E MINERAÇÃO S.A. (DOCEGEO). *Projeto Pedra Branca*. s.N.T., a. inédito.
- *Mapa de pontos de amostragem e teores em sedimentos de corrente*; escala 1:50.000, s.N.T., b. inédito.
- *Projeto serra da pedra branca, mapa geológico preliminar da área Passa-e-Fica/Morro da Mangabeira*; escala 1:10.000, s.N.T., c. inédito.
- RIVEREAU, J.C. *Curso de fotointerpretação*. Brasília, DF, Universidade de Brasília, 1970, 139 p. (Série Didática, 4).
- ROBINOV, C.J. *Integrated terrain mapping with digital LANDSAT images in Queensland, Australia*. Washington, DC, U.S. Department of the Interior, 1979, 39 p. (Geological Survey Prof. Paper, 1102).
- ROSS, H.P.; ADLER, J.E.M.; HUNT, G.R. A statistical analysis of the reflectance of igneous rocks from 0.2 to 2.65 microns. *Icarus*, 11(1):46-54, 1969.
- ROUTHIER, P. *Les gisements metallifères, geologie et principes de recherche*. Paris, Masson, 1963, 2 v.
- ROWAN, L.C.; GOETZ, A.F.H.; ASHLEY, R.P. Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near-infrared multispectral images. *Geophysics*, 42(3):522-535, 1977.
- ROWAN, L.C.; KAHLE, B.A. Evaluation of 0.46 to 2.36 μm multispectral scanner images of the East Tintic Mining District, Utah, for mapping hydrothermally altered rocks. *Economic Geology*, 77(2): 441-452, 1982.
- ROWAN, L.C.; LATHRAN, E.H. Mineral exploration. In: SIEGAL, B.S.; GILLESPIE, A.R. *Remote sensing in geology*. New York, NY, John Wiley, 1980, cap. 17, p. 553-605.
- 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 images*. 2. ed. Washington, DC, U.S. Department of the Interior, 1976, 35 p. (Geological Survey Prof. Paper, 883).

- RUMSEY, I.A.P. Relationship of fractures in unconsolidated superficial deposits to those in the underlying bedrock. *Modern Geology*, 3(1):25-41, 1971.
- SABINS Jr., F.F. *Remote sensing: principles and interpretation*. San Francisco, CA, W.H. Freeman and Co., 1978.
- SADACCA, R. Human factors in image interpretation. *Photogrammetric Engineering*, 29(6):978-988, 1963.
- SALISBURY, J.W.; HUNT, G.R. Remote sensing of rock type in visible and near-infrared. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 9., Ann Arbor, 1974. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, Environm. Research Institute of Michigan, 1974, v. 3, p. 1953-1958.
- SANTOS, L.B.; INNOCÊNCIO, N.R.S. Vegetação. In: IBGE. *Geografia do Brasil-Região Centro-Oeste*. Rio de Janeiro, 1977, v. 4, p. 59-84.
- SHARMA, R.D.; LABS, W.R. Enhancement of Earth Resources Technology Satellite (ERTS) and aircraft imagery using atmospheric corrections. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, MI, 1972. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, Environm. Research Institute of Michigan, 1972.
- 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.
- SILVA, G.G.; LIMA, M.I.C.; ANDRADE, A.R.F.; ISSLER, R.S.; GUIMARÃES, G. Geologia. In: BRASIL. Departamento Nacional de Produção Mineral. Projeto RADAM. *Folha SB.22 Araguaia e parte da folha SC.22 Tocantins*. Rio de Janeiro, 1974, p. 1-143. (Levantamento de Recursos Naturais, v. 4).
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, 16(32):71-104, 1976.
- SOUZA, E.C.; MELLO, A.F.F.; ADAMY, A.; SOEIRO, R.S.; DALEIRO, V. *Projeto Noroeste de Rondônia: relatório final*. Convênio Departamento Nacional de Produção Mineral/Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais. Porto Velho. CPRM, 1975.

- SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M. (Edit.) *Remote sensing: a quantitative approach*. New York, NY, McGraw-Hill, 1978.
- TARANIK, J.V. *Reference material on principles of computer processing of LANDSAT data for mineral and petroleum exploration*. Sioux Falls, SD, EROS Data Center, 1977.
- TARANIK, J.V.; REYNOLDS, C.D.; SHEEHAN, C.A.; CARTER, W.D. Targeting exploration for nickel laterites in Indonesia, with LANDSAT data. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 12., Ann Arbor, 1978. *Proceedings*. Ann Arbor, Environm. Research Institute of Michigan, 1978, v. 2, p. 1037-1051.
- TAYLOR, R.G. *Observations of the Tin deposits of the Goiás region with special reference to exploration area held by Tricontinental*. Rio de Janeiro. Mineração Tricontinental, 1980. inédito.
- TRICART, J. Influence des oscillations climatiques récentes sur le modèle en Amazonie Orientale (region de Santarém) d'après les images radar latéral. *Zeitschrift für Geomorphologie*, 19(2):140-163, 1975.
- VERSCHURE, R.H.; BON, E.H. *Geology and geochronology of tin-bearing volcano-plutonic complexes in Rondonia (Western Brazil), reflections on the genesis of this type of magmatism*. Amsterdam, 1972. A.R.Z.W.O. Lab. voor Isotopen Geologie (Report, p. 177-198).
- VINCENT, R.K. Spectral ratio imaging methods for geological remote sensing from aircraft and satellite. In: MANAGEMENT AND UTILIZATION OF REMOTE SENSING DATA. Sioux Falls, 1973. *Proceedings*. American Society of Photogrammetry, p. 377-399.
- WAGHORN, J.G. *The geology of Rondônia, Western Brazil, with special reference to the Tin-bearing granite complexes and placer deposits*. Thesis for Doctor of Philosophy. London, Univ. of London, Faculty of Science, 1974, 293 p.
- WALKER, P.M.; TREXLER, D.T. Low sun-angle photography. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43(4):493-506, 1977.

- WATSON, R.D. Spectral reflectance and photometric properties of selected rocks. *Remote Sensing of Environment*, 2(2):95-100, 1972.
- WAY, D.S. *Terrain analysis*. Stroudsburg, PE, Dowden, Hutchinson & Ross, 1973. (Community Development Series).
- WESTIN, F.C.; LEMME, G.D. LANDSAT spectral signature: studies with soil associations and vegetation. *Photogrammetric Engineering on Remote Sensing*, 44(3):315-321, 1978.
- WHITE, W.B.; KEESTER, K.L. Optical absorption spectra of Iron in rock-forming silicates. *American Mineralogist*, 51(5/6):774-791, 1966.
- YOST, E.; WENDEROTH, S. The reflectance spectra of mineralized trees. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 7., Ann Arbor, MI, 1971. *Proceedings*. Ann Arbor, MI, Environm. Research Institute of Michigan, 1971, v. 1, p. 269-284.