

CARLOS LOCH

PESQUISA DE DIVERSOS SENSORES (LANDSAT, RADAR E FOTOS AÉREAS),
BEM COMO ESTUDO DE SUAS POTENCIALIDADES
APLICADAS À INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

Dissertação apresentada ao Curso de
Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências pela Universidade Federal do
Paraná.

CURITIBA

1982

PESQUISA DE DIVERSOS SENSORES (LANDSAT, RADAR E FOTOS AÉREAS),
BEM COMO ESTUDO DE SUAS POTENCIALIDADES APLICADAS
À INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA

DISSERTAÇÃO

Apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências
Geodésicas para obtenção do Grau de Mestre em
Ciências pela Universidade Federal do Paraná

por

CARLOS LOCH, Eng^o Agrimensor

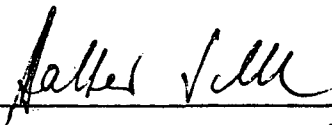
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

1982

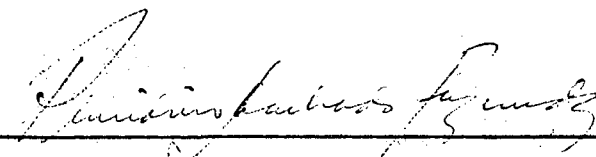
BANCA EXAMINADORA:



Dr. HANS-PETER BÄHR - Orientador



Dr. WALTER UWE SCHÖLL - Co-Orientador



Prof. PLACIDINO MACHADO FAGUNDES

A meus pais,
Leocádia Boeing Loch e Lindemar Loch.

AGRADECIMENTOS

Quero externar agradecimentos:

A Deus, que me deu saúde e energia;

A meus manos (Marta, Sérgio e Paulino), pelo incentivo e cooperação;

Aos Dr. Ing. habil Hans-Peter Bähr e

Dr. Walter Schöll

respectivamente, orientador e co-orientador do presente trabalho, pela orientação, dedicação e estímulo dispensados;

À Coordenação do Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos;

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), pela doação, empréstimo de material e esclarecimentos concedidos;

Ao Radar da Amazônia (RADAM), pela colaboração e esclarecimentos prestados;

À Cruzeiro do Sul, pela doação de material;

À Fundação Instituto de Terras e Cartografia do Paraná (FITC), pela doação de material;

À Diretoria de Serviços Geográficos do Exército (DSG), pela doação de material;

À Escola de Florestas, pelo empréstimo de material;

À Fundação da UFPR, pela colaboração financeira para o curso no INPE;

Ao Dr. Eurico Back, pela revisão do texto;

A todos os professores, pela orientação, incentivo e cordialidade durante o curso de mestrado;

Aos colegas, pela amistosa cooperação e estímulo que me deram;

Aos funcionários do curso, que, de alguma forma, contribuíram para o êxito deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página	
LISTA DE SIGLAS	x	
SINOPSE	xi	
SYNOPSIS	xii	
Capítulo I		
INTRODUÇÃO E OBJETIVOS		
1.1	Introdução	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Estrutura do Trabalho	2
Capítulo II		
SENSOR LANDSAT		
2.1	Histórico	4
2.2	Geometria da órbita do sistema Landsat	6
2.3	Subsistema MSS (<i>Multispectral Scanner</i>)	8
2.4	Subsistema RBV (antes do Landsat-3)	9
2.5	Recepção e processamento das imagens Landsat.	11
2.6	Recobrimento da imagens	13
2.7	Resolução do sistema	14
2.8	Fontes de distorções geométricas das imagens.	15
2.9	Comparação geral entre os quatro canais do MSS	17
Capítulo III		
SENSOR DE RADAR		
3.1	Histórico	20
3.2	O que significa a palavra RADAR?	21
3.3	Sistema RADAR	21
3.3.1	Sistema SLAR	23
3.4	Obtenção da imagem	24

	Página
3.4.1	Fatores que afetam a imagem de RADAR 25
3.4.2	Aspectos geométricos da imagem SLAR 27
3.5	Resolução do Sistema 28
3.6	Estereoscopia nas imagens de RADAR 29

Capítulo IV

FOTOGRAFIAS CONVENCIONAIS

4.1	Fotografias (significado da palavra) 31
4.2	Fotografias métricas e não-métricas 31
4.3	Vantagens das fotografias métricas e não-métricas 32
4.4	Planejamento do Voo 33
4.5	Distorções que podem ocorrer em fotografias aéreas, que influem na fotointerpretação 34
4.5.1	Deslocamento da imagem provocado pelo relevo do terreno 34
4.5.2	Distorções e deslocamentos causados pela não-estabilidade da aeronave 35
4.6	Determinação da altura de um ponto a partir da medida do comprimento da sombra 38
4.7	Determinação de altura de um ponto por diferença de paralaxe 39
4.8	Comparação entre os sensores do Landsat, RADAR e Fotos Aéreas 40

Capítulo V

MAPEAMENTO GEOLÓGICO CONVENCIONAL

5.1	Introdução 44
5.2	Coleta de dados existentes, úteis para o mapeamento 44
5.3	Missão de campo 46
5.4	Grau de precisão do trabalho de campo 47
5.5	Possíveis dificuldades no mapeamento 48
5.6	Definições de características geológicas 49
5.7	Seções estratigráficas 51
5.8	Maneira de medir a espessura estratigráfica.. 52
5.9	Determinação do ângulo de mergulho 54

	Página
5.9.1 Método de campo para determinação do ângulo de mergulho	54
5.9.2 Método fotogramétrico	54
Capítulo VI	
ÁREA DE TESTES E MATERIAL DISPONÍVEL	
6.1 Localização da área de testes	56
6.2 Área de testes	57
6.3 Razões da escolha desta área	58
6.4 Tabela do material disponível para a tese .	59
6.5 Figura ilustrativa dos mosaicos de RADAR ..	62
6.6 Comentários sobre material disponível	63
6.7 Dificuldades encontradas na coleta de material	64
Capítulo VII	
ANÁLISE DA ÁREA DE TESTES	
USO DO TRÊS SENSORES	
7.1 Simbologia litológica adotada	65
7.2 Seqüência adotada	67
7.3 Interpretação das imagens do Landsat	67
7.3.1 Interpretação litológica	68
7.3.2 Limites fáceis de visualização (LANDSAT)...	70
7.3.3 Limites difíceis de visualização	71
7.4 Traçado da rede de drenagem	72
7.5 Interpretação dos mosaicos de RADAR	73
7.5.1 Traçado da rede de drenagem	74
7.5.2 Interpretação dos limites litológicos	76
7.5.3 Comparação entre interpretações feitas sobre as imagens dos sensores do LANDSAT e RADAR.	77
7.5.4 Limites de fácil visualização (no RADAR)....	77
7.5.5 Limites de difícil visualização	79
7.6 Interpretação das fotos aéreas	79
7.6.1 Interpretação da rede de drenagem	80
7.6.2 Interpretação litológica	81
7.6.3 Avaliação dos limites litológicos	82

	Página
7.7	Interpretação de diques 83
7.7.1	Interpretação dos diques nos três sensores. 84
Capítulo VIII	
CONCLUSÕES	
8.1	Resultados básicos e potencialidades dos diferentes sensores para o mapeamento geológico 86
	NOTAS DE REFERÊNCIA 93
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 96
Apêndices:	
	Fotos ilustrativas 102
	Mapas de Interpretação dos três sensores .. 106

LISTA DE SIGLAS

ESSA	- Environmental Science Services Administration
ERTS	- Earth Resources Technology Satellite
RBV	- Return Beam Vidicon
MSS	- Multispectral Scanner
INPE	- Instituto de Pesquisas Espaciais
Hz	- Hertz
MT	- Mato Grosso
HDDT	- High Density Digital Tape
CCT	- Computer Compatible Tape
SLAR	- Side-Looking Airborne Radar
PPI	- Plan Position Indicator
RADAM	- RADAR na Amazônia
CPRM	- Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
CCGP	- Comissão da Carta Geológica do Paraná
DNPM	- Departamento Nacional de Produção Mineral
PIN	- Plano de Integração Nacional
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
FITC	- Fundação Instituto de Terras e Cartografia do Paraná
SRB	- Sistema de Referência Brasileiro (identificação de órbitas e pontos dos satélites Landsat)
WRS	- Sistema de Referência Americano (órbitas e pontos do satélite Landsat)
COMEC	- Coordenação de Região Metropolitana de Curitiba
DSG	- Diretoria de Serviço Geográfico do Exército

SINOPSE

Nos primeiros capítulos são apresentadas as noções básicas para o conhecimento de cada sensor e o que se entende por mapeamento geológico convencional.

Na parte prática é feita uma análise da eficiência de cada sensor, considerando os elementos: rede hidrográfica, limites litológicos e traçado de diques.

SYNOPSIS

The first chapters present basic information about LANDSAT, RADAR and Conventional Photography and give a brief introduction into classical geological mapping.

In the experimental part a research was undertaken in order to determine the efficiency of each sensor looking at the following elements: hydrografic nets, lithological limits and drawing of dikes.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 Introdução

A utilização dos sistemas de sensores numa plataforma aérea ou orbital permite a aquisição de imagens da superfície da Terra, de forma sinóptica e mesmo repetitiva.

O máximo de discriminação entre os alvos e sua vizinhança é conseguido considerando-se que as propriedades dos alvos naturais se manifestam de forma característica no fluxo de radiação eletromagnética que reflete ou emite tais informações.

Definição de Sensoriamento Remoto

Sensoriamento Remoto caracteriza-se pela detecção, registro e análise das informações de objetos distantes, sem contacto direto com os mesmos. As informações são transmitidas pelas ondas eletromagnéticas. Na prática, Sensoriamento Remoto limita-se a sistemas que produzem imagens.

Sensoriamento Remoto é uma tecnologia que está em franco desenvolvimento. Várias formas de sensoriamento remoto, como imagens tomadas de satélites, imagens de RADAR e fotografias convencionais têm vasto campo de aplicação científica e prática na meteorologia, agronomia, geografia, geologia, cartografia, pedologia, hidrografia e oceanografia.

Mapas geológicos são essenciais no conhecimento de recursos minerais; auxiliares para a agronomia, para a construção de prédios e de estradas.

1.2 Objetivos

a) Estabelecer no curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas uma base para trabalhos futuros na área de Sensoriamento Remoto sob aspectos fotogramétricos.

b) Comparar a eficiência dos sensores LANDSAT, RADAR e FOTOS CONVENCIONAIS, aplicando-se na pesquisa geológica.

c) A parte teórica da dissertação apresenta uma descrição dos sistemas sensores acima citados e uma coleta de informações dos mesmos voltadas aos interesses da fotogrametria.

1.3 Estrutura do trabalho

Os capítulos II, III e IV apresentam, respectivamente, noções básicas dos sensores Landsat, Radar e Fotos aéreas. Esses capítulos tratam de assuntos necessários para que o usuário entenda as capacitações e limitações básicas de cada sensor e as diferenças entre um sensor e outro.

O capítulo V mostra o que é o mapeamento geológico convencional, a seqüência adotada e o que se faz neste trabalho.

O capítulo VI apresenta a relação do material utilizado para a elaboração deste trabalho.

O capítulo VII descreve a seqüência e a maneira como foram interpretadas as imagens dos sensores; é apresentado um relatório das interpretações de cada sensor. Foi feito um teste conjunto dos sensores para se obter a confirmação daquele que melhor se adapte à região de interesse.

No capítulo VIII são apresentadas recomendações onde mais se podem aplicar os sensores. No mesmo capítulo, são apresentadas as conclusões sobre o trabalho.

No final estão os apêndices com os mapas de interpretação de cada sensor, onde se pode verificar a capacidade de cada um. Nos apêndices apresentam-se também seis fotos ilustrativas dos sensores envolvidos.

CAPÍTULO II

SENSOR LANDSAT

2.1 Histórico

19) Satélites experimentais e meteorológicos.

a) O primeiro satélite artificial lançado no espaço foi o Sputnik I, no dia 4 de outubro de 1957 - Centro de Pesquisa Espacial da União Soviética.

O primeiro satélite americano foi o Explorer - I, o qual foi lançado no espaço em janeiro de 1958.

b) Em 1960 foi posto em órbita o primeiro satélite da série TIROS:

- é uma série de satélites operacionais;
- são satélites para fins meteorológicos;
- Enviaram para a Terra as primeiras imagens tipo TV.

c) Em 1964 foi desenvolvida a série NIMBUS:

- É uma série de satélites experimentais;
- são satélites para fins meteorológicos, também utilizados em pesquisas de Geociências;
- esses satélites usam sistemas imageadores "Multispectral Scanner".

Percebe-se que o desenvolvimento da era espacial foi muito rápido.

Os Estados Unidos e a União Soviética dominam as pesquisas espaciais.

29) Satélites LANDSAT.

Em 1972, foi lançada a série de satélites "Earth Resources Technology Satellites (ERTS)", os quais foram baseados no programa NIMBUS, adequando os sensores a finalidades de observação da Terra através de um aumento da resolução do sistema.

O primeiro satélite, o ERTS-A, foi lançado no espaço no dia 23 de julho de 1972. O ERTS-B foi posto em órbita no dia 22 de janeiro de 1975. Após o lançamento do ERTS-B o sistema foi rebatizado como "LANDSAT".

O sistema LANDSAT (ERTS) de Sensoriamento Remoto é composto de dois sub-sistemas:

- RBV - Return Beam Vidicon
- MSS - Multispectral Scanner.

A tabela a seguir mostra um resumo do sistema LANDSAT:

NOME	DATA DE LANÇAMENTO	SUBSISTEMA RBV	SUBSISTEMA MSS	DATA DE DESATIVAÇÃO DO SATÉLITE
LANDSAT-1	23/07/72	3 câmaras	4 canais de rastreamento eletrônico multiespectral	06/01/78
LANDSAT-2	22/01/75	3 câmaras	4 canais de rastreamento eletrônico multiespectral	22/06/80
LANDSAT-3	05/03/78	2 câmaras	5 canais de rastreamento eletrônico multiespectral	...
LANDSAT-D	Julho/82	vai ser substituído pelo "Thematic Mapper"

39) Após o LANDSAT, foi lançado o programa SKYLAB.

O primeiro satélite foi posto em órbita em fevereiro de 1973. O SKYLAB foi o satélite tripulado que girou em órbita a 430 quilômetros da Terra. As missões SKYLAB possibilitam a aquisição de imagens entre os paralelos de Latitude 50°N e 50°S (ref. |1|, pág. 8).

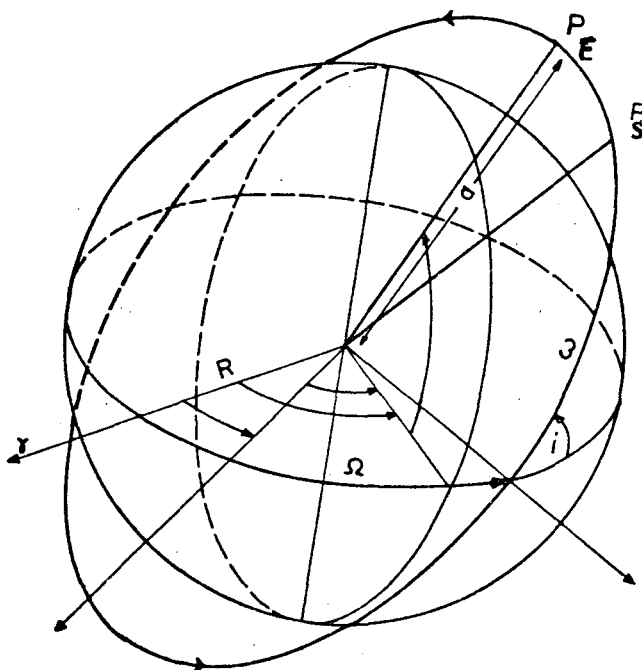
O sistema SKYLAB, teve como objetivo montar os laboratórios espaciais. O SKYLAB conduziu duas câmaras imageadoras.

a) SI90A → câmara multispectral com formato 6 x 6 cm, a qual tem uma resolução terrestre de 100 metros;

b) SI90B → câmara que usa filmes a cores, tem um formato 11,5 x 11,5 cm e apresenta uma resolução de 38 metros no terreno.

2.2 Geometria da órbita do sistema LANDSAT

FIGURA I (ref. |2|, pág. 9).

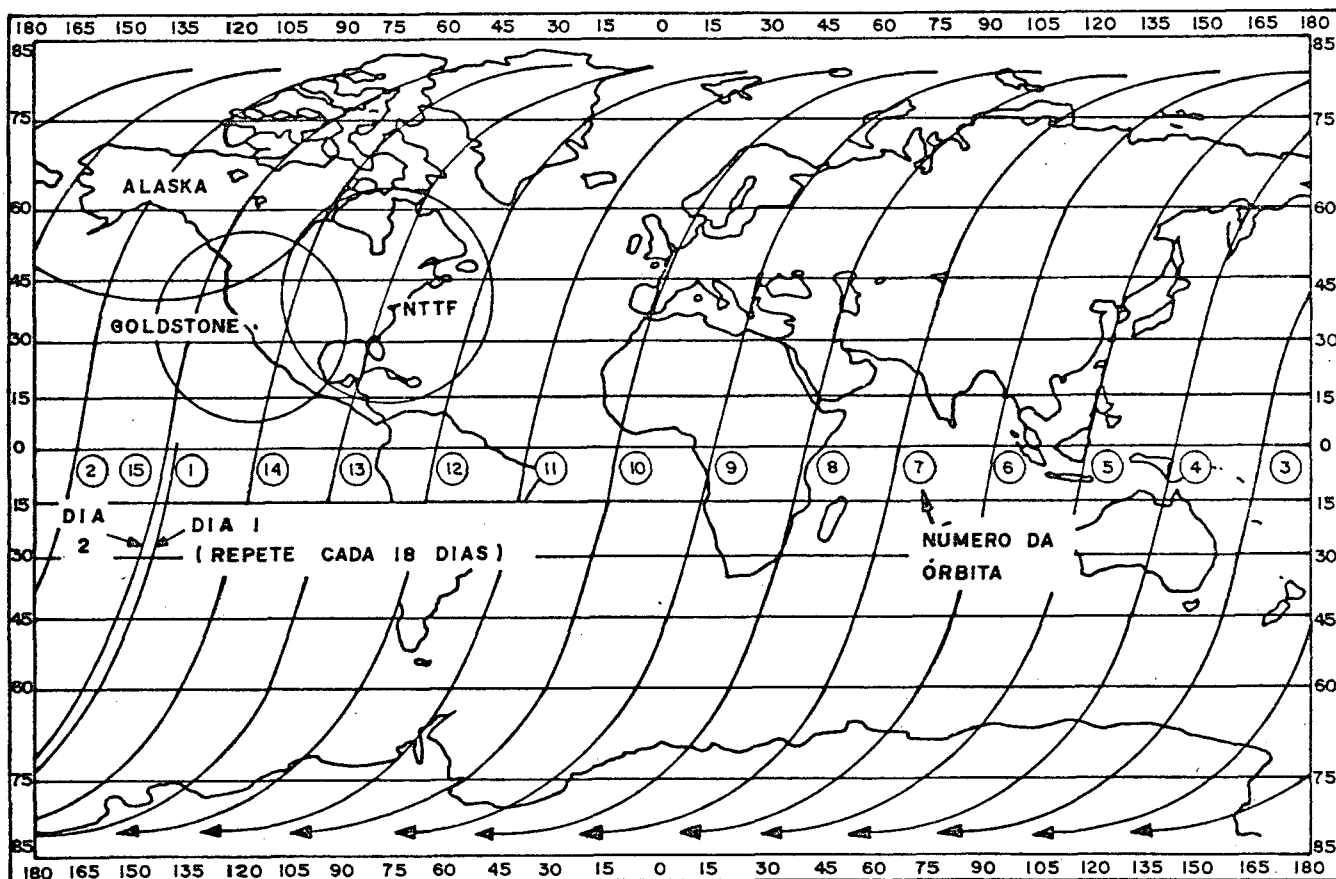


- PE - Perigeu;
- Ps - Posição do satélite;
- a - semi-eixo da elipse;
- T - período de revolução;
- ω - argumento do perigeu (PE);
- Ω - ascensão reta do nodo ascendente;
- i - inclinação do plano orbital.

Os parâmetros orbitais servem para:

- definir a órbita satélite;
- determinar a posição do satélite;
- controle do satélite no espaço.

FIGURA II Projeção das órbitas do satélite sobre a Terra.
(ref. |3|, pág. I.6).



A figura II mostra as órbitas do satélite (de um dia) projetadas na superfície da Terra. Os números de 1 a 14 indicam as órbitas consecutivas do satélite. A distância entre duas órbitas indicadas na figura II (exemplo: a distância entre as órbitas 4 e 5) é de ± 2.760 km no Equador. No lado es-

querdo vê-se a inscrição: dia 2 +)) + dia 1, que representa duas faixas adjacentes. Essas faixas em órbitas adjacentes distam $\pm 159,39$ km uma da outra no Equador.

A cobertura repetitiva e sistemática do nosso planeta é obtida pelos dois subsistemas imageadores, em órbita quase circular, síncrona com o sol.

Os parâmetros de controle do sistema são:

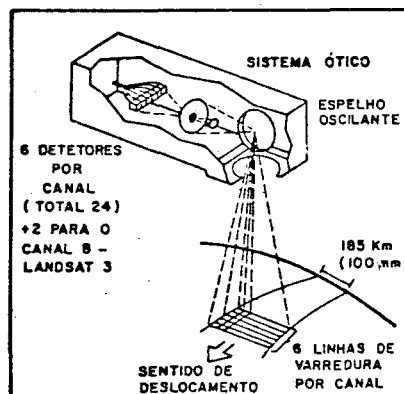
- período $T = 103$ minutos, completando, aproximadamente, 14 órbitas diárias;
- inclinação $i = 99^\circ$ em relação ao plano do Equador;
- cobertura até $\pm 81^\circ$ de latitude;
- altitude média $h = 918$ km; há uma variação de altitude no intervalo de 880 a 940 km;
- ciclo de cobertura do planeta = 18 dias.

O ciclo de cobertura do planeta (18 dias) é importante (ref. |4|, pág.20), pois, por meio dele é possível fazer um planejamento para o pedido de imagens de um local, em função das condições atmosféricas locais, no dia de interesse do usuário, uma vez que é conhecido, a priori, o dia em que uma dada região será imageada.

2.3 Subsistema MSS (Multispectral Scanner)

FIGURA III Exploradora multispectral
(ref. |5|, pág.I.7).

nm = nautical miles:



O subsistema MSS tem um espelho oscilante com frequência de 13,62 Hz e um ângulo de visada de $11,6^{\circ}$. Esse espelho varre a superfície terrestre em 33 microssegundos. Seis linhas de varredura são exploradas de uma vez, sendo estas perpendiculares à direção orbital. A faixa de varredura tem uma largura de, aproximadamente, 185 quilômetros. O sistema MSS opera no intervalo de 0,5 a 1,1 microns, produzindo quatro canais multiespectrais, conforme este esquema:

CANAL	COMPRIMENTO ESPECTRAL EM MÍCRONS	COR
4	0,5 - 0,6	Verde-laranja
5	0,6 - 0,7	Laranja-vermelho
6	0,7 - 0,8	Vermelho-infravermelho
7	0,8 - 1,1	Infravermelho próximo

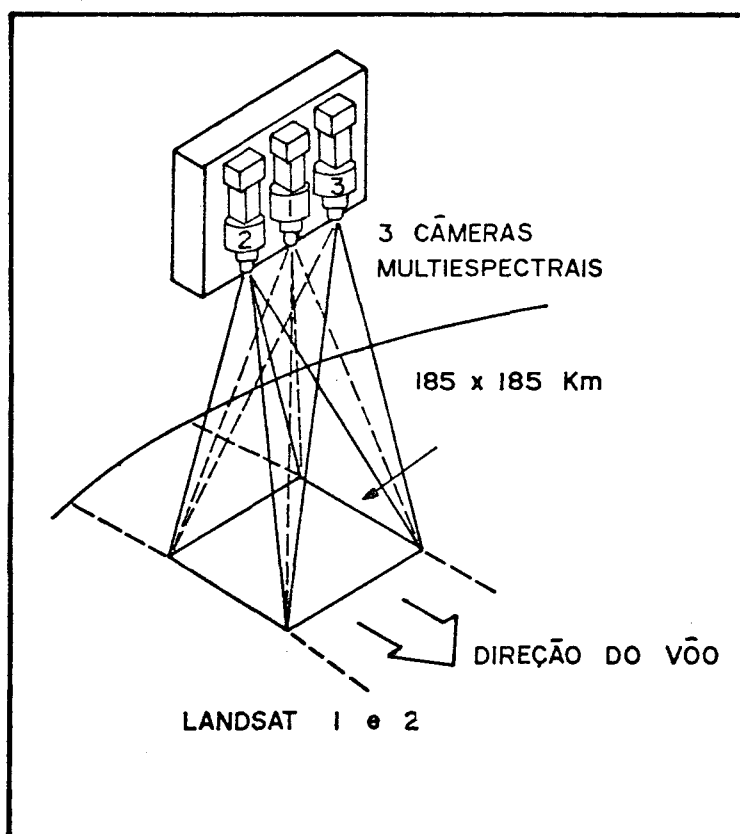
2.4 Subsistema RBV (antes do Landsat - 3)

(ref. [6], pág.329-331).

RBV = Return Beam Vidicon

O sistema funciona com três câmaras, simultaneamente, junto a um obturador, possibilitando a obtenção de imagens consecutivas, cada câmara sensoriando uma diferente banda espectral.

FIGURA IV Subsistema RBV
(ref. [7], pág.I.12).



O sistema RBV funciona no intervalo de 0,48 a 0,83 microns conforme o esquema abaixo:

CANAL	INTERVALO DE COMPRIMENTO DE ONDA - EM MÍCRONS	COR
1	0,48 - 0,58	Azul-verde
2	0,58 - 0,68	Amarelo-laranja
3	0,698 - 0,83	Vermelho-infravermelho

Dois câmaras funcionam com comprimento de onda visível e a outra no infravermelho-próximo. A cena terrestre apresentada numa imagem é de 185 x 185 quilômetros.

O sistema é equipado com uma superfície fotossensível no tubo RBV e, após o obturador, a imagem é explorada por um feixe eletrônico onde se tem a saída do sinal em vídeo. Cada câmara é lida, seqüencialmente, exigindo cerca de 3,5 segundos para cada uma das três imagens espectrais. (ref. |8|, pág. II.10-11). Para haver o recobrimento longitudinal das imagens, as câmaras são obturadas a cada 25 segundos.

2.5 Recepção e processamento das imagens LANDSAT

O sistema de recepção e gravação dos dados Landsat do INPE encontra-se em Cuiabá, MT, aproximadamente, o centro geodésico da América do Sul (ver figura V), permitindo assim atingir a maioria dos seus países.

O sistema de Cuiabá, utilizando uma antena de rastreamento, faz a recepção e gravação das imagens geradas pelos subsistemas MSS e RBV, assim como os dados de telemetria (altitude e orientação do satélite) ao longo do seguimento da órbita ao alcance desta estação.

Após essa etapa, as fitas gravadas (Fitas HDDT) são enviadas ao laboratório de processamento de imagens em Cachoeira Paulista.

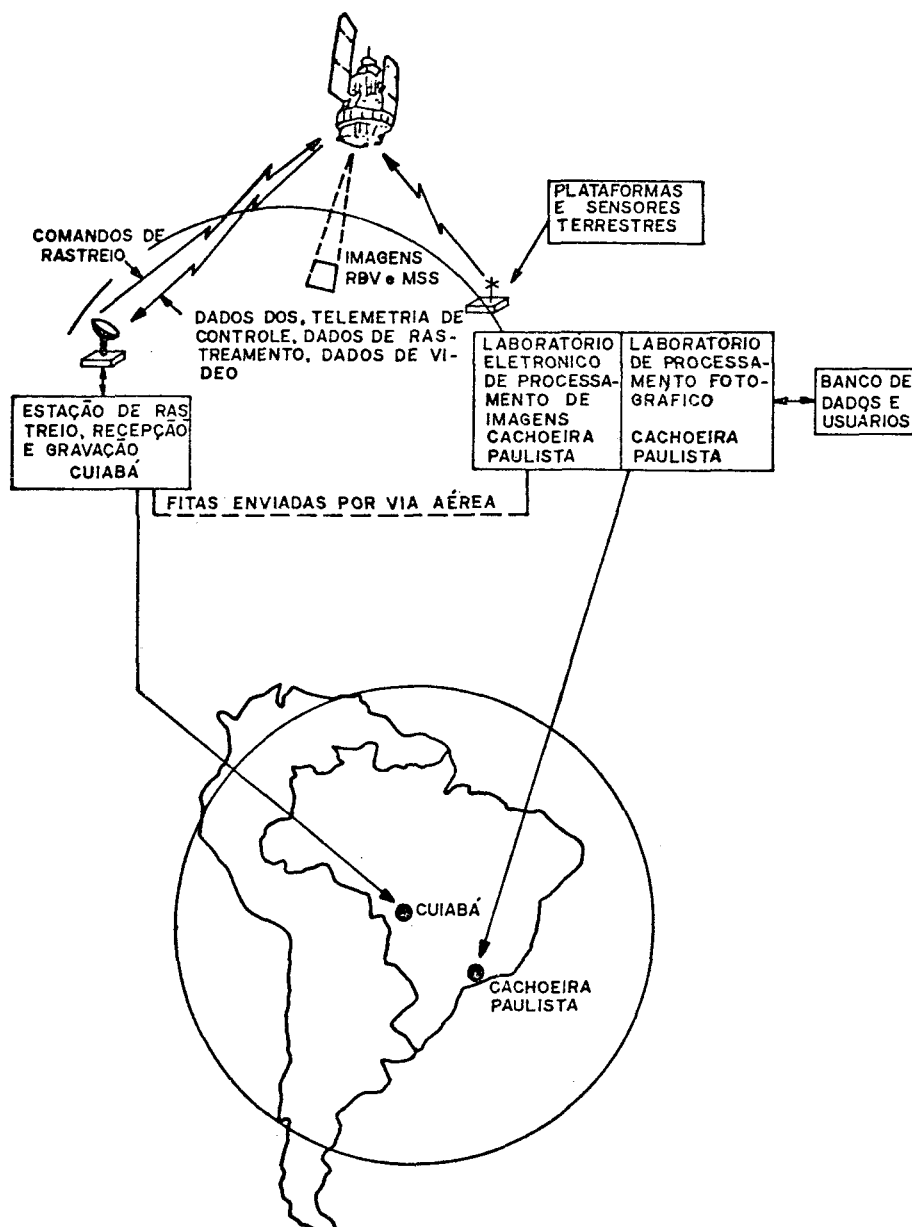
- *Processamento:* sobre o Brasil existem 36 órbitas-padrão (base) que são recobertas em 18 dias. Para as finalidades de processamento, cada órbita é dividida em "cenas" cujos centros são denominados pontos e são equidistantes de 25 segundos com relação ao tempo de geração de dados pelo satélite. Cada cena pode ser identificada por um par de números: Base/ponto.

Base é a abscissa do ponto central da imagem.

Ponto é a ordenada do ponto central da imagem.

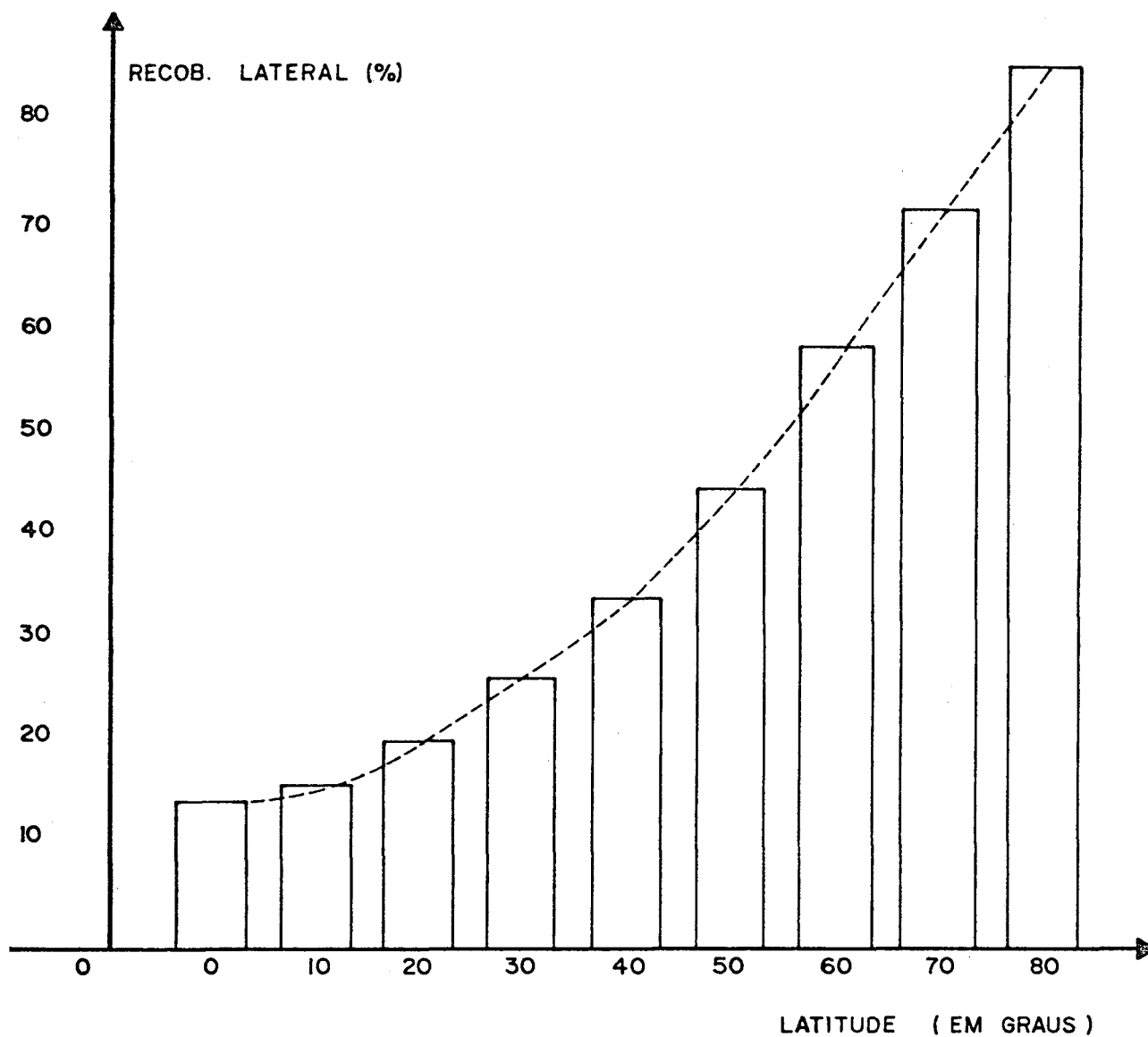
As fitas HDDT são processadas para a conversão dos dados em formas mais convenientes aos usuários, tais como: fitas CCT, que servem para os computadores eletrônicos, e imagens em papel fotográfico.

FIGURA V (ref. |9|, pág. II.7).



2.6 Recobrimento das imagens

O recobrimento lateral em termos de coordenadas geográficas, varia, acentuadamente, com a variação da latitude local, isto para os subsistemas MSS e RBV, conforme o diagrama abaixo. (ref. Tabela 13 de [10], pág.20).



Esse recobrimento pode ser calculado pela fórmula seguinte:

$$R_c = L - S \operatorname{sen} i \cos \phi \quad (\text{ref. } |11|, \text{ pág.44})$$

onde:

- ϕ = latitude do local;
- L = largura da faixa na superfície = 185 km;
- S = A . nf;
- n = $n_0 + nf$;
- A = Arco equatorial entre duas órbitas;
- n = número de arcos "A" contidos no Equador;
- nf = é a parte fracionária de "n" ($nf \leq 0,5$);
- i = inclinação da órbita.

No subsistema RBV temos um recobrimento longitudinal de 10%.

No subsistema MSS a superposição longitudinal de 10% é obtida na estação processadora da imagem, uma vez que, no satélite, temos um imageamento contínuo.

Em função da latitude do satélite e da pequena escala das imagens, a visão estereoscópica se torna impraticável porque as diferenças de paralaxe são muito pequenas, comparando as diferenças de altitude do terreno com a altitude do satélite.

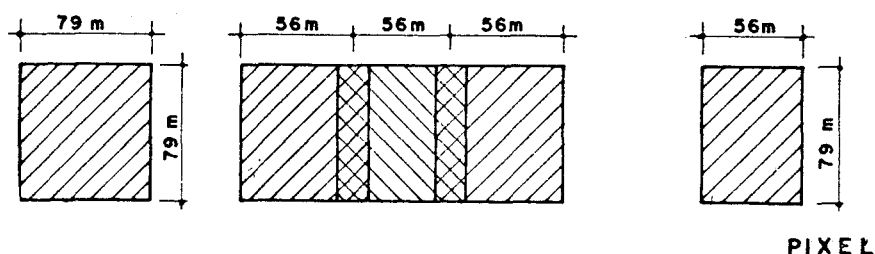
2.7 Resolução do sistema

(ref. |12|, pág.I.8 - I.11).

A detecção de características da superfície da Terra depende do tamanho do objeto e do contraste que o mesmo apresenta. Assim, pode acontecer que, de dois corpos do mesmo tamanho,

um será visto na imagem e o outro não. Dependendo da característica espectral, um corpo pode ser detectado num canal, não sendo perceptível em outro canal.

No sistema MSS, o campo de visão instantâneo do sensor é de 0,086 microrradianos, o que corresponde a 79 metros, medidos na superfície. O campo de visão instantâneo atinge uma área de 79 x 79 metros na superfície da Terra; 56 metros é a distância entre dois "pixels" (ver figura seguinte). A partir disso, atribuiu-se a cada medida, na imagem, as dimensões de 79 x 56 metros, sendo conhecida essa área como elemento de imagem ou "pixel" (picture element).



2.8 Fontes de distorções geométricas das imagens

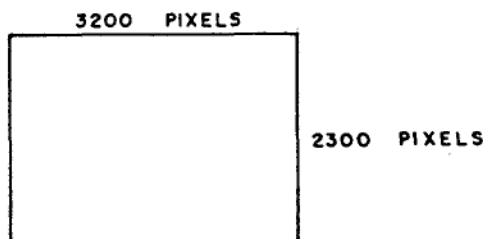
As distorções mais importantes são:

- a) diferença de escalas em x e y — "afinidade";
- b) efeito da rotação da Terra.

Essas distorções são conhecidas como "distorções grosseiras". As imagens de que se dispõem no Brasil já estão corrigidas dessas distorções.

Afinidade

Formato da imagem Landsat (inicial)



A imagem apresenta, na forma inicial, 3.200 colunas e 2.300 linhas.

O fator de correção vem do fato de que cada *pixel* tem o formato de 79 x 56 metros, gerando uma diferença de escala nos eixos x e y da imagem. Esse fator de correção obtém-se da relação $79/56 \cong 1,4$.

Assim, é necessário aplicar uma compressão na imagem, que é obtida com a retirada de colunas ou, ainda, por acréscimo de linhas igualando, assim, também, as escalas x e y .

Efeito da rotação da Terra

O efeito da rotação da Terra, causado sobre um ponto da imagem, é obtido por uma fórmula que envolve:

- o arco correspondente à posição do satélite;
- a velocidade angular da Terra;
- a velocidade angular do satélite;
- a latitude do local;
- a inclinação da órbita.

(Ver. ref. |13|, pág. 40).

Para que se obtenham imagens mais precisas, existem outros processos mais rigorosos de ajustamento, usando polinômios do 2º grau:

$$x = a_0 + a_1x' + a_2y' + a_3x'^2 + a_4y'^2 + a_5x'y'$$

$$y = b_0 + b_1x' + b_2y' + a_3x'^2 + b_4y'^2 + b_5x'y'$$

(ref. |14|, pág.81).

O método de ajustamento por polinômios exige número suficiente de pontos de apoio, no terreno, para que se possa obter o ajustamento. A aplicação desse método de ajustamento é viável quando se analisam grandes regiões. Com a aplicação desse método, consegue-se melhorar a precisão geométrica do sistema até ±40-50 metros. OBS.: para cada imagem são necessários 12 pontos de apoio.

2.9 Comparação geral entre os quatro canais do MSS

Na prática, neste trabalho, é dada maior ênfase aos canais 5 e 7, isto levando em consideração: a) que é comum o intérprete usar apenas dois canais em trabalhos de interpretação visual; b) que é conveniente que se use um canal do espectro visível e outro do infravermelho próximo. O ideal, entretanto, seria que o intérprete usasse os quatro canais do MSS.

BANDA 4

- 1 - O contraste de tonalidade é pobre;
- 2 - Massas de água com tom uniforme cinza-escuro, os contornos não são claros e, em algumas áreas, confundem-se com a vegetação;
- 3 - Os modelos de drenagem são mostrados obscuramente;
- 4 - O contraste entre as unidades geológicas não é apresentado nitidamente;

- 5 - Os lineamentos topográficos não são nítidos;
- 6 - As rodovias e cidades podem ser identificadas.

BANDA 5 (Ver foto I do Apêndice)

- 1 - O contraste de tonalidade é bom;
- 2 - os contornos de massas de água são bem distintos e podem ser delimitados facilmente;
- 3 - Os modelos de drenagem são bem distintos e evidentes;
- 4 - as unidades geológicas podem ser distinguidas e seus contatos traçados, em função da vegetação original, se existir.
- 5 - Os lineamentos topográficos aparecem claramente;
- 6 - as cidades e as principais rodovias podem ser identificadas facilmente.

BANDA 6

- 1 - O contraste de tonalidade é pobre;
- 2 - as massas de água aparecem claramente;
- 3 - os modelos de drenagem são obscuros;
- 4 - Os contrastes entre unidades geológicas não são tão nítidos, quanto na banda 7, mas, podem ser distinguidos.
- 5 - Os lineamentos topográficos podem ser observados;
- 6 - as cidades e estradas são obscurecidas.

BANDA 7

- 1 - O contraste de tonalidade é pobre;
- 2 - os grandes cursos de água são evidentes (cor preta);
- 3 - os modelos de drenagem são relativamente visíveis;
- 4 - as unidades geológicas podem ser bem distinguidas e os contrastes podem ser traçados.

- 5 - os lineamentos topográficos podem ser percebidos;
- 6 - as cidades e estradas não aparecem claramente.

CAPÍTULO III

SENSOR DE RADAR

3.1 Histórico

Houve uma grande expansão da utilidade e, conseqüentemente, o interesse no RADAR aumentou durante a Segunda Guerra Mundial, quando foi empregado em operações bélicas.

A partir de 1950, o maior interesse se concentrou no desenvolvimento do RADAR de longo alcance.

No início da década de 60, na "National Aeronautics and Space Administration (NASA)", começaram os primeiros estudos para a utilização do RADAR na pesquisa de recursos naturais, e conseqüentemente, no mapeamento em pequena e média escala.

Em 1968 um grupo de brasileiros fez um estágio na NASA, adquirindo conhecimentos sobre a tecnologia do sensor de RADAR.

Em 1969, a NASA, em convênio com o Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), fez a primeira demonstração do aerolevantamento no Brasil, usando o RADAR de visada lateral (SLAR = Side-Looking, Airborne Radar), numa área de 5.000.000 quilômetros quadrados, no Quadrilátero Ferrífero, no Estado de Minas Gerais.

Em 1970 o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), criou o projeto RADAR na Amazônia (RADAM), com o obje-

tivo de mapear a Amazônia, parte do plano de integração nacional.

Em 1975, o projeto RADAM foi estendido a todo o território brasileiro, passando, a partir de então, a chamar-se projeto RADAMBRASIL, órgão atualmente encarregado dos trabalhos radargramétricos do Brasil.

Hoje, o órgão está pensando, até, em exportar tecnologia de RADAR a outros países, uma vez que o projeto RADAMBRASIL é o maior investimento radargramétrico do mundo.

3.2 O que significa a palavra RADAR?

Ra = rádio;

d = detecção ou determinação;

a = inicial da palavra inglesa *and*;

r = inicial da palavra inglesa *ranging*;

RADAR = *R*ádio *d*etection *a*nd *r*anging device. Essa palavra foi criada pela armada dos E.U.A. É um processo para descobrir e localizar por meio de rádio.

3.3 Sistema RADAR

Relacionando o imageamento a RADAR com o espectro eletromagnético, ele funciona na faixa de microondas. O RADAR opera com comprimentos de onda no intervalo de 0.1 a 100 centímetros. (ref. |15|, pág.106).

O RADAR distingue-se de muitos outros sensores pelo fato de possuir sua fonte de radiação própria e independe da luz do sol; por isso, é classificado como sensor ativo.

As microondas produzidas pelo equipamento penetram na atmosfera, mesmo sob condições adversas de tempo e a qualquer hora do dia (24 horas por dia), independentemente, portanto, da iluminação solar.

A quantidade de penetração das microondas na atmosfera é diretamente relacionada ao comprimento de onda do sistema. "Com comprimento de onda curto, é impossível haver a mesma capacidade de penetração da onda através do céu coberto." (ref. |16|, pág.113). Essa é uma das grandes vantagens do RADAR, quando comparado com outros sensores.

Os RADARs imageadores, aero-transportados, são de dois tipos básicos: o SLAR (Side-Looking Airborne Radar), e o PPI (Plan Position Indicator).

No Brasil, o SLAR é o único tipo de RADAR usado com propósitos de mapeamento.

O RADAR PPI foi desenvolvido numa pesquisa anterior ao SLAR. O sistema PPI é usado especialmente para navegação. Todos os RADARs incorporam uma unidade precisa, medidora de tempo, de maneira que toda a extensão da área imageada possa ser precisamente medida.

3.3.1 Sistema SLAR

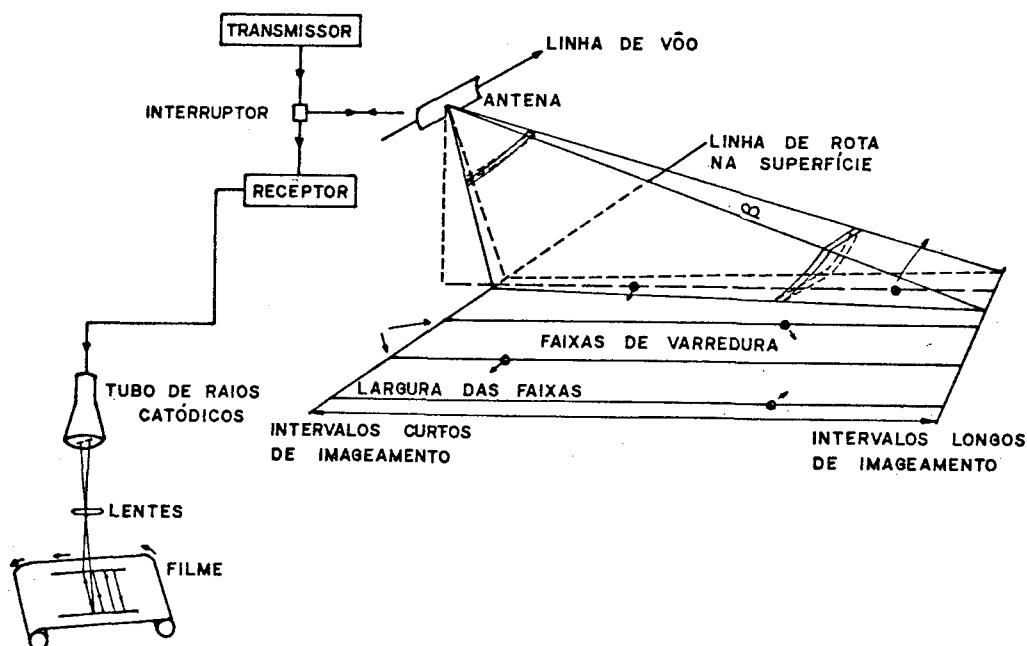
As microondas geradas por um RADAR(SLAR) são lançadas sobre a superfície terrestre por uma ou duas antenas de

visada lateral; o sistema SLAR varre o terreno, por reflexão (conforme figura I), numa direção perpendicular à linha de vôo.

A energia correspondente à intensidade da reflexão das microondas sobre cada objeto é transmitida linha por linha a um tubo de raios catódicos. O RADAR emite sinais em intervalos de vários segundos a 10 nano-segundos de duração, tempo necessário para o sinal retornar à antena após tocar o objeto.

Com a emissão de novos pulsos e o deslocamento da aeronave, os sinais recebidos de novos locais do terreno são, sucessivamente, registrados no filme fotográfico, formando uma faixa contínua de imagem.

FIGURA I (ref. |17|, pág.8).



3.4 Obtenção da imagem

As imagens de RADAR, usadas pelo Projeto RADAMBRASIL, foram obtidas através da LASA - Engenharia e Projeções S/A (Rio de Janeiro). O equipamento usado foi o RADAR SLAR GEMS 1000 da GOODYEAR, montado num avião a jato do tipo Caravelle. O avião voou a uma altura de ± 11.000 metros. A escala original do imageamento é de 1:400.000.

Esquema do processo que resulta na imagem de RADAR

FIGURA II (ref. |18|, pág.108).



GERADOR - produz uma série de pulsos os quais acionam o transmissor.

TRANSMISSOR - converte cada pulso recebido numa forma de energia de rádio-freqüência.

DUPLEXER - é um interruptor que conecta a antena ao transmissor durante o curto período em que é gerada a energia de RADAR, depois conecta a antena ao receptor para o tempo restante.

ANTENA - transmite a energia ao terreno — capta a parte não absorvida; esta é transmitida ao receptor.

RECEPTOR - transforma a energia em pontos que vão impressionar um filme.

TUBOS DE RAIOS CATÓDICOS - imprime os dados num filme de maneira similar a um aparelho de televisão convencional.

3.4.1 Fatores que afetam a imagem de RADAR

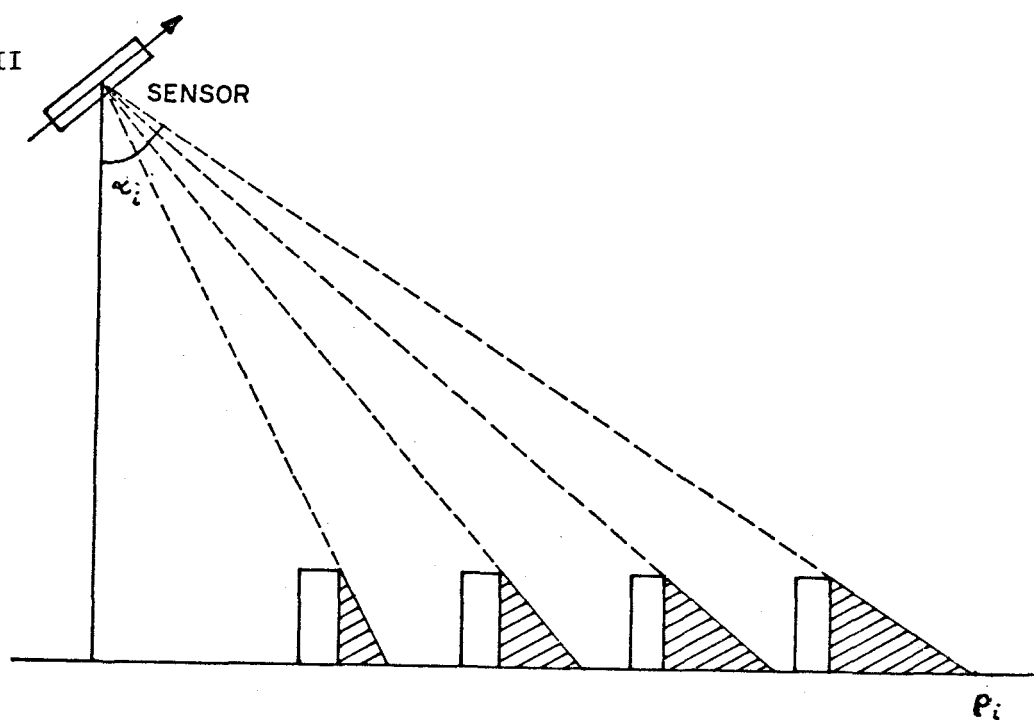
- a) Resultantes do sistema:
- 1 - comprimento de onda;
 - 2 - ângulo de incidência;
 - 3 - polarização.
- b) Resultantes do terreno:
- 1 - Ângulo aparente;
 - 2 - constante dielétrica;
 - 3 - coeficiente de espalhamento.

Comprimento de onda

"Quanto menor o comprimento de onda mais a superfície aparecerá rugosa" (Borstelman, 1979) (ref. |19|, pág.26).

Assim, mudando o comprimento de onda, obtém-se diferentes características nas imagens de um mesmo local.

FIGURA III



Ângulo de incidência α

É o ângulo formado entre o feixe de energia e a vertical do lugar onde se encontra a antena (ver figura anterior ângulo α_i).

Polarização

O sistema RADAR emite energia polarizada para o terreno, o qual pode despolarizá-la ou não, conforme o ângulo de incidência do raio luminoso e das condições locais do terreno.

Constante dielétrica

As propriedades dielétricas dos corpos variam conforme a condutibilidade elétrica do material existente na superfície imageada. Onde existe boa condutibilidade, é mínimo o retorno de energia para o sistema.

Ângulo aparente

É o ângulo de vista ou ângulo de inclinação do terreno em relação à antena.

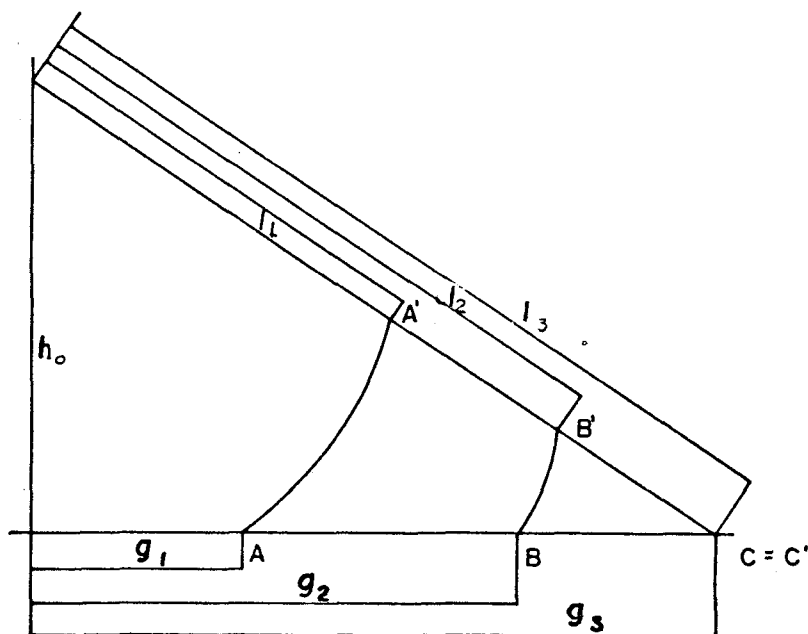
Coefficiente de espalhamento

As ondas eletromagnéticas incidem numa superfície, algumas são absorvidas pelo material e outras são refletidas. As ondas refletidas podem portar-se de duas maneiras: reflexão especular (como um espelho) ou reflexão difusa (em todas as direções).

3.4.2 Aspectos geométricos da imagem SLAR

Os intervalos de varredura superficial são modificados conforme as condições locais, para igualar a escala da imagem à correspondente característica da superfície.

FIGURA IV



Na figura IV acima, são apresentadas as ondas de RADAR igualmente espaçadas (A' , B' , C'), enquanto os intervalos na superfície serão imageados, proporcionalmente, como se encontram na superfície, com a distância \overline{AB} maior que a distância \overline{BC} , a escala da imagem ser maior, ou seja, quanto mais próximo o objeto estiver da antena, maior será a escala em que será imageado.

A distância horizontal é calculada a partir do conhecimento da altitude da aeronave e da medida da distância inclinada.

A fórmula para calcular a distância horizontal, correspondente à distância inclinada, é:

$$G_i = \sqrt{l_i^2 - h_o^2}$$

(ref. |20|, pág.246, ref. |21|, pág.444)

A eficiência do RADAR é função do ângulo de incidência e da abertura angular do aparelho. A abertura angular do sistema SLAR está compreendida no intervalo de 13° a 45° (ref. |22|, pág.30).

As sombras causadas pelos objetos, durante o imageamento, são importantes, pois, contribuem na interpretação da imagem, dando sensações de terceira dimensão ao terreno. Sombra é a região que não fica imageada, sendo oculta por um outro corpo.

3.5 Resolução do sistema

A resolução é, rigorosamente, relacionada com as dimensões dos corpos da superfície e, simultaneamente, com o espalhamento do feixe de energia. A resolução é maior quando o feixe de energia apresenta um coeficiente de espalhamento mínimo.

No sistema RADAR tem-se:

- a) A resolução na direção do pulso, que depende da duração do pulso, pode ser calculada pela fórmula seguinte:

$$r_r = \frac{c \cdot t}{2 \cos \omega}$$

(ref. |23|, pág.446)

c = velocidade da luz (m/s);

t = tempo de duração do pulso (seg.);

ω = complemento do ângulo de incidência (ângulo de depressão).

- b) A resolução, quanto à largura do feixe de energia, é calculada pela fórmula:

$$r_a = R \cdot \beta$$

(ref. |24|, pág.446)

R = distância inclinada entre a antena e o objeto imageado;

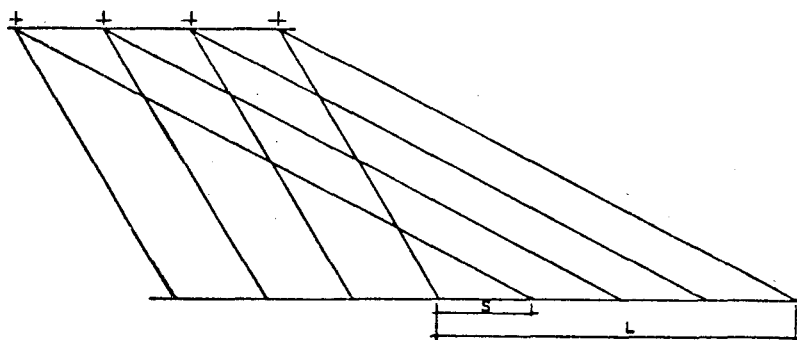
β = largura do feixe de energia.

(Ver fig. I - Sistema SLAR).

No RADAM, era esperada (teoricamente) uma resolução de 20 metros (ref. |25|, pág.27); na prática, encontraram, nas melhores condições, uma resolução de 25 metros, atribuindo esse resultado às próprias características do sistema e ao espalhamento do sinal de retorno.

3.6 Estereoscopia nas imagens de RADAR

FIGURA V



$$L = 4 \cdot S$$

S = distância entre duas linhas de voo consecutivas

$$S = 15 \text{ km}$$

L = largura da faixa de varredura

$$L = 60 \text{ km.}$$

Aparentemente, usando o recobrimento SLAR, existiria a mesma possibilidade de obter a estereoscopia, como no caso de fotos aéreas convencionais, exceto o problema da escala das imagens.

Nos vôos radargramétricos as aberturas angulares são mantidas iguais em todas as faixas de vôo. Conforme a figura, percebe-se que a altitude de vôo é mantida constante em todas as linhas de vôo.

As imagens de RADAR apresentarão problemas para a estereofusão, quando um ponto for imageado em direções opostas: a sombra do objeto ficará invertida e a quantidade de brilho deixará de ser a mesma.

"Experiências mostram que é mais fácil obter a estereoscopia de um par de imagens de RADAR no caso de imageamentos a partir do mesmo lado" (ref. |26|, pág. 118). Como segundo método, pode-se ter o caso de imageamentos a partir do mesmo lado, mas com altitudes de vôo diferentes.

No Brasil, foi usado o RADAR GEMS 1000 para o recobrimento de todo o território. Este RADAR é controlado para imagear sempre com a mesma latitude de vôo. Assim é fácil concluir que, no Brasil, foi usado o primeiro procedimento.

CAPÍTULO IV

FOTOGRAFIAS CONVENCIONAIS

4.1 Fotografias (significado da palavra)

A origem da palavra vem do grego: foto = luz; grafia = escrever, pintar.

Dá-se o nome de "fotograma" à fotografia que contém marcas fiduciais, as quais permitem, juntamente com a distância principal, reconstituir o feixe perspectivo que deu origem a cada fotografia.

4.2 Fotografias métricas e não-métricas

a) Fotografias métricas são aquelas obtidas com câmaras fotogrâficas, cujas características principais são:

- 1º) Produzem fotografias que dispõem de marcas fiduciais, as quais permitem o cálculo dos parâmetros de orientação interna (f_0 , x_0 , y_0).
- 2º) Servem para extrair informações métricas e informações semânticas de uma área imageada.
- 3º) A resolução é de ± 30 pares de linhas por milímetro.
- 4º) Na prática, as câmaras métricas produzem fotografias no formato-padrão de 23 x 23 cm,

através de objetivas cujas distâncias focais podem ser de 85, 88, 150, 210 e 300 mm.

b) Fotografias não-métricas são fotos comuns obtidas com câmaras não dotadas de marcas fiduciais e de distância principal variável. Ver fotos ilustrativas no Apêndice.

- 1º) Produzem negativos em formatos variáveis;
- 2º) a distância principal é ajustável para a distância em que se vai fotografar.
- 3º) Na prática, o filme usado é variável, podendo ser preto e branco ou a cores.
- 4º) A resolução chega até 80 pares de linhas por milímetro.

4.3 Vantagens das fotografias métricas e não-métricas

MÉTRICAS	NÃO-MÉTRICAS
1 - As fotografias contêm marcas fiduciais, permitem a orientação interna das fotos.	1 - Menor custo do filme, da câmara e das fotos.
2 - Tamanho-padrão das fotografias.	2 - A revelação é mais simples e rápida: existem laboratórios fotográficos em todas as maiores cidades.
3 - Maior precisão geométrica se comparadas com as fotos não-métricas.	3 - Necessita-se de menos técnicas para fotografar.
4 - Na prática, as fotografias métricas geralmente são verticais, podendo também ser oblíquas; exemplo fotogrametria terrestre.	4 - Tem grandes aplicações em trabalhos de reconhecimento locais.
5 - São usadas em fotogrametria, sendo adaptáveis a aparelhos de restituição.	5 - O preço é acessível para o uso de fotografias a cores.
6 - Existem fotografias da maior parte do país, em várias escalas e épocas.	6 - Apresentam maior flexibilidade, tendo grande variedade de tipos de câmaras.
	7 - Podem ser tomadas em qualquer posição, da maneira que melhor capte o pormenor a fotografar.

Obs.: Os itens das duas colunas não são correlacionados.

4.4 Planejamento de vôo

A cobertura fotográfica de uma região tem um custo variável com a escala desejada, com a extensão da área a fotografar e com a distância à base de aperfeiçoamentos, de limitações, tais como: condições atmosféricas, altura do sol, latitude, etc.

O sucesso de um projeto (geralmente para produção de cartas) depende da qualidade das fotografias, bem como da adequação dessas fotos aos demais recursos a serem utilizados.

Conforme o exposto, percebe-se que é necessário um estudo prévio das condições oferecidas pela região da qual se pretende obter as fotos:

- 1º) *Local em que será executada a cobertura fotográfica*
 - a - localização geográfica;
 - b - relevo do terreno;
 - c - condições atmosféricas locais.

- 2º) *Especificações da cobertura a realizar*
 - a - altitude de vôo;
 - b - escala das fotos conforme as necessidades;
 - c - correlação escala das fotos do modelo, se for o caso de mapeamento;
 - d - superposição longitudinal das fotos;
 - e - superposição lateral das faixas.

- 3º) *Equipamento disponível e material de consumo a empregar*
 - a - aeronave (verificar se a estabilidade é compatível);

- b - câmara fotogramétrica;
- c - tipo de emulsão e do respectivo suporte;
- d - instrumento restituidor a ser usado (se a finalidade do trabalho for a produção de mapas).

4.5 Distorções que podem ocorrer em fotografias aéreas, que influem na fotointerpretação

4.5.1 Deslocamento da imagem provocado pelo relevo do terreno

Os objetos situados acima ou abaixo do nível médio do terreno aparecem deslocados em relação à posição que teriam na realidade. Esses deslocamentos são bem evidentes em fotos aéreas, aparecendo, mais acentuadamente, nas regiões periféricas (distância radial maior). Exemplos: na tabela abaixo. Os deslocamentos podem ser calculados pela fórmula:

$$d = \frac{r \cdot \Delta h}{H - \Delta h}$$

(ref. |27|, pág.68)

r = distância radial em mm

H = altitude de vôo em metros

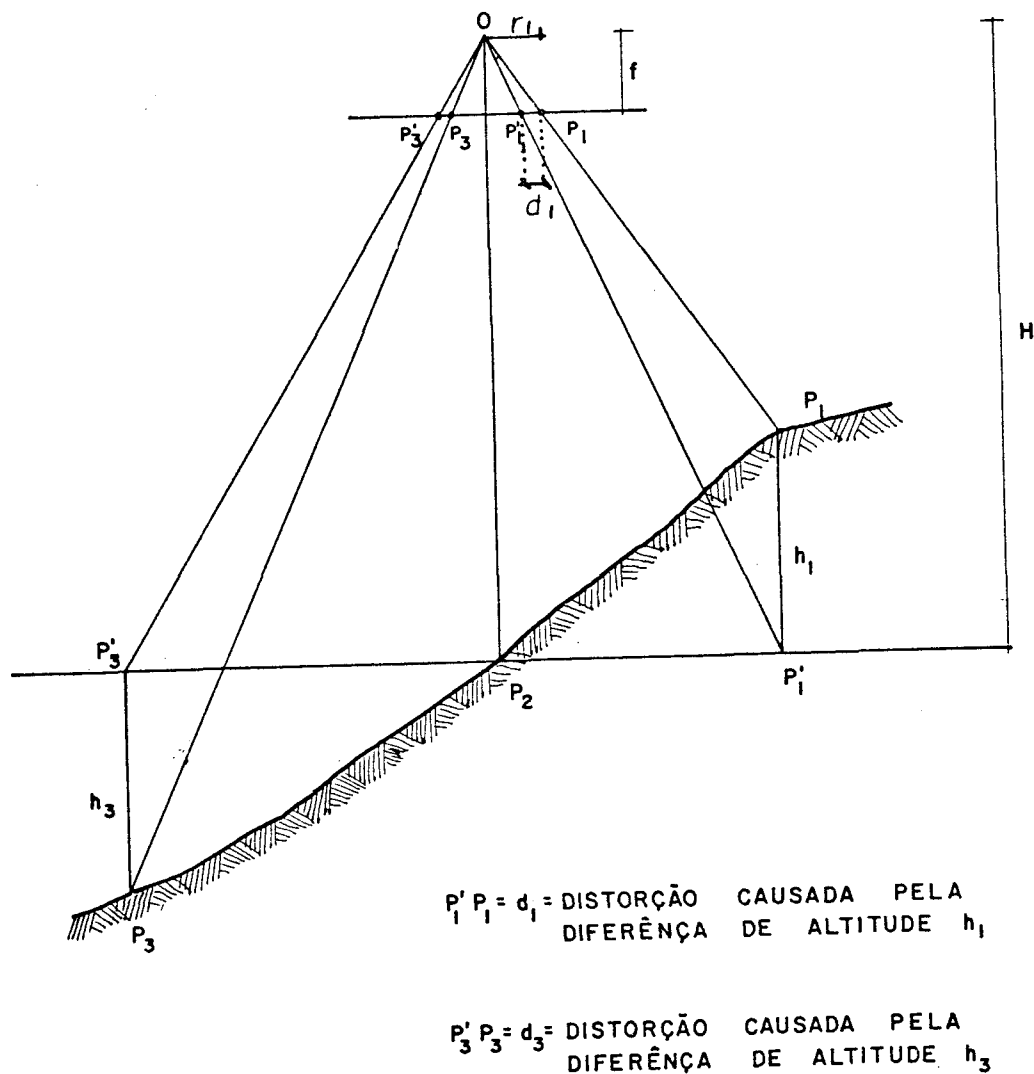
Δh = altitude do terreno em relação ao nível de referência em metros

d = deslocamento calculado em milímetros.

TABELA I Ex. altitude de vôo H = 10.000 metros
Valores de "d" para diversos valores de r e Δh .

r \ Δh	20	40	60	80	100	120	140	160
20	0,04	0,08	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,32
40	0,08	0,16	0,24	0,32	0,40	0,49	0,57	0,65
60	0,12	0,24	0,36	0,48	0,61	0,73	0,85	0,97
80	0,16	0,32	0,48	0,64	0,81	0,97	1,14	1,30
100	0,20	0,40	0,60	0,81	1,01	1,21	1,42	1,63
120	0,24	0,48	0,72	0,97	1,21	1,46	1,70	1,95
140	0,28	0,56	0,84	1,13	1,41	1,70	1,99	2,28

De acordo com a tabela, percebe-se que as distorções causadas pelo relevo são bem significativas. Verifica-se, facilmente, que as distorções aumentam, mais ainda, quando tomamos pontos nas bordas das fotos. Exemplo: O ponto com distância radial de 140 mm e diferença de altitude de 120 metros apresenta um deslocamento de 1,70 mm.



4.5.2 Distorções e deslocamentos causados pela não-estabilidade da aeronave

Essas distorções e deslocamentos dependem das condições atmosféricas, da habilidade da tripulação e do tipo de aeronave. São muito importantes nos trabalhos de fotointer-

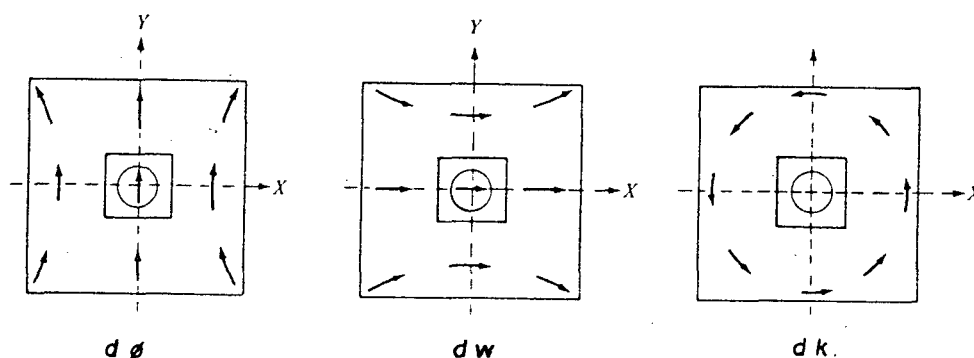
pretação e restituição, tanto analógica como analítica. Assim, existem algumas correções, como:

1º) dk - serve para corrigir as distorções causadas por rotações em torno do eixo vertical "Z".

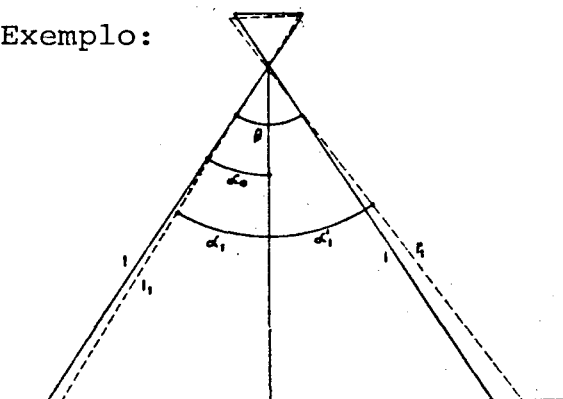
2º) $d\phi$ - aplicada para corrigir distorções causadas por inclinações de nariz e cauda do avião; é uma rotação em torno do eixo "Y".

3º) $d\omega$ - aplicada para corrigir distorções causadas por inclinações de asa do avião; é uma rotação em torno do eixo "X".

FIGURA das distorções causadas nas fotografias (ref. |28|, pág.299).



O movimento em torno do eixo Z (dk) não causa distorção geométrica na foto e sim deslocamento. Os movimentos ($d\phi$) e ($d\omega$) causam distorções acentuadas na geometria da foto. A distorção aumenta proporcionalmente ao aumento da inclinação do eixo ótico da foto. Exemplo:



Exemplo:

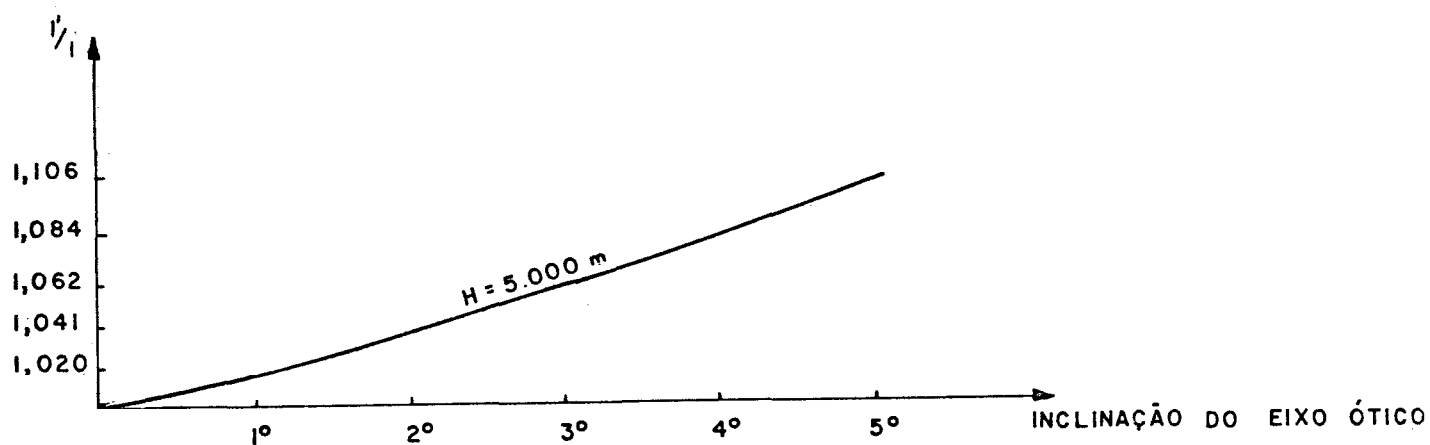
$$\beta = 60^{\circ}$$

$$\alpha = 30^{\circ}$$

$$H = 5.000 \text{ metros}$$

$$l = H / \cos \alpha$$

$\alpha_0 = 30^{\circ}$	$l_{30} = 5.773.503$	$\alpha_0' = 30^{\circ}$	$l'_{30} = 5.773.503$
$\alpha_1 = 29^{\circ}$	$l_{29} = 5.716.770$	$\alpha_1' = 31^{\circ}$	$l'_{31} = 5.833.167$
$\alpha_2 = 28^{\circ}$	$l_{28} = 5.662.850$	$\alpha_2' = 32^{\circ}$	$l'_{32} = 5.895.892$
$\alpha_3 = 27^{\circ}$	$l_{27} = 5.611.631$	$\alpha_3' = 33^{\circ}$	$l'_{33} = 5.961.816$
$\alpha_4 = 26^{\circ}$	$l_{26} = 5.563.010$	$\alpha_4' = 34^{\circ}$	$l'_{34} = 6.031.090$
$\alpha_5 = 25^{\circ}$	$l_{25} = 5.516.890$	$\alpha_5' = 35^{\circ}$	$l'_{35} = 6.103.873$



A relação l'/l fornece a diferença de escala de um lado para o outro da foto, conforme a inclinação do eixo ótico.

Obs.: Estas distorções também podem ser obtidas analiticamente usando a equação de colinearidade.

4.6 Determinação da altura de um ponto a partir da medida do comprimento da sombra

A fórmula para calcular a diferença de altura entre os pontos é a seguinte:

$$h = \frac{H \cdot l \cdot \operatorname{tg}\alpha}{f}$$

H = altura de vôo [m].

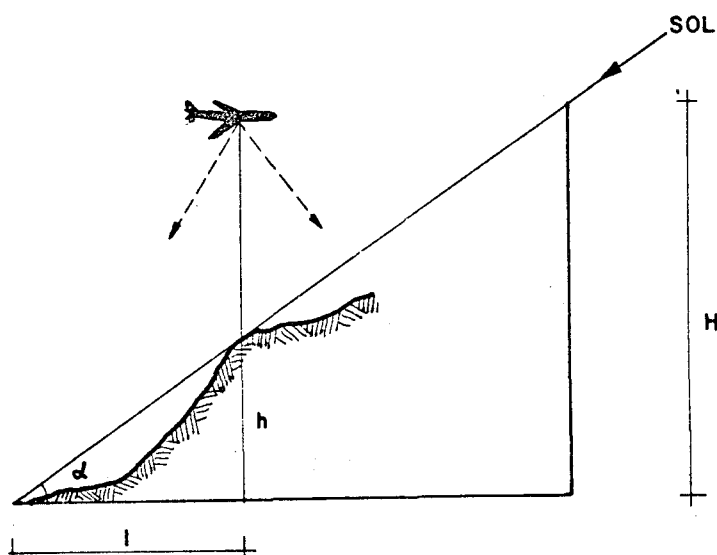
l = comprimento horizontal da sombra, medido na foto [mm].

f = distância focal [mm].

h = diferença de altura entre os pontos [m].

α = altura do sol [graus] (ref. [30], pág.59).

Para calcular a altura do sol é necessária a declinação do sol no dia da tomada da foto, a latitude do local e o ângulo horário.



4.7 Determinação de altura de um ponto por diferença de paralaxe

A fórmula para calcular a diferença de altura entre dois pontos é:

$$\Delta h = \frac{H \cdot dp}{b + dp}$$

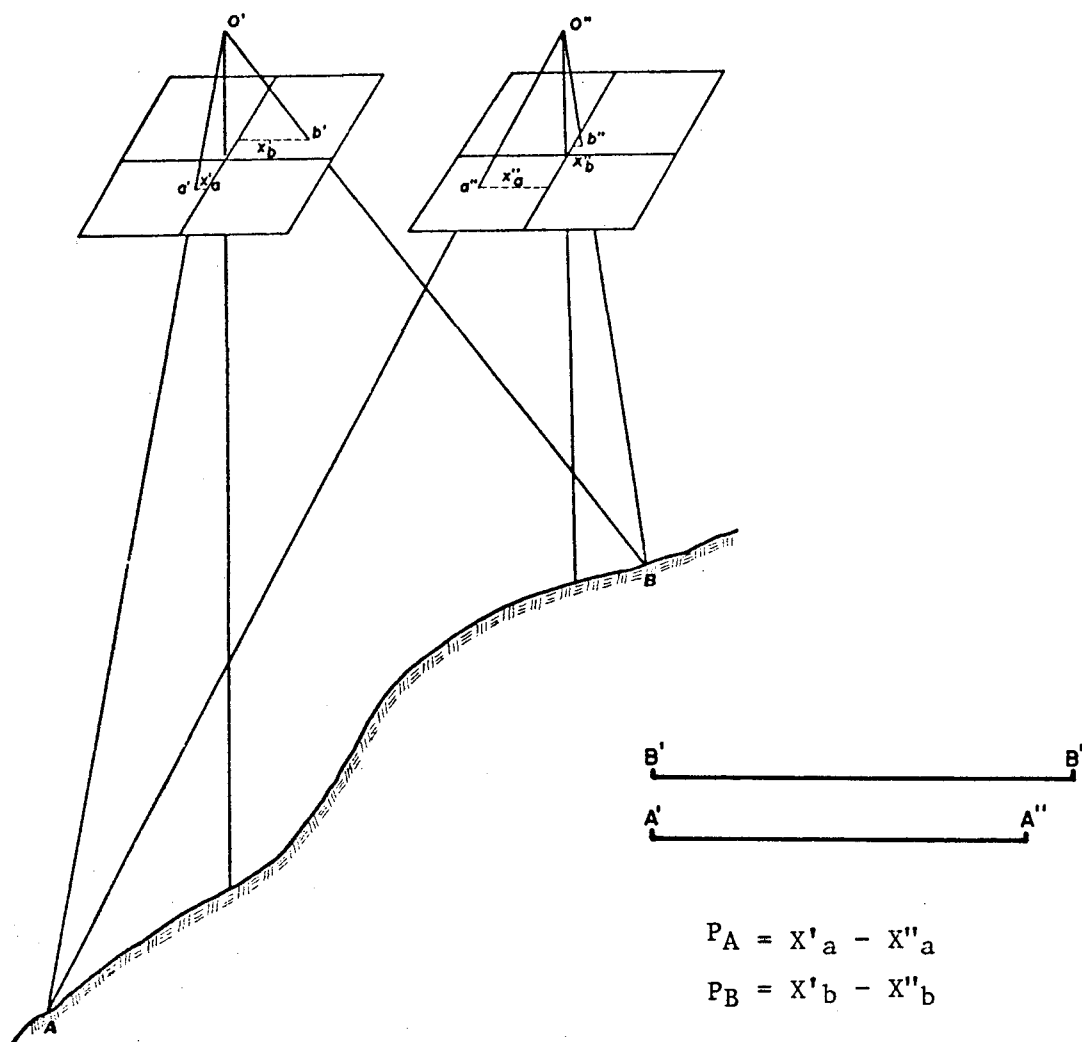
(ref. |31|, pág.85)

Δh = diferença de altura entre os pontos [m].

H = altura de vôo [m].

b = média das fotobases de pares estereoscópicos [mm].

dp = diferença de paralaxe entre os dois pontos cuja diferença de cota se pretende calcular [mm].



A precisão da medição de alturas do terreno depende muito da habilidade do indivíduo na percepção da paralaxe.

4.8 Comparação entre os sensores do Landsat, RADAR e Fotos Aéreas

1.a) O satélite Landsat imageia com qualquer condição atmosférica; porém, a presença de nuvens prejudica a quantidade de informações terrestres da imagem.

1.b) As imagens de RADAR podem ser obtidas com o céu coberto de nuvens, sem prejuízo das informações terrestres.

1.c) A obtenção de fotografias aéreas para fins de análise da Terra só é possível durante o dia e com o céu limpo.

2.a) O Landsat imageia no intervalo de 0,48 (canal 1) a 1,1 microns (canal 7); portanto, a maior parte no espectro visível é uma parte no infravermelho próximo

2.b) As imagens de RADAR são produzidas na faixa de microondas. O RADAR é um sistema ativo; a energia é gerada pelo próprio equipamento; portanto, é possível imagear aspectos terrestres 24 horas diárias.

2.c) Os dados fotográficos são imageados no espectro visível e no infravermelho próximo.

3.a) A percepção estereoscópica é pobre devido à altura do satélite (918 km) e conseqüentes pequenas diferenças de paralaxe.

3.b) A percepção estereoscópica é limitada. O intérprete usa o estereoscópio de bolso para obter a estereoscopia.

3.c) A visão estereoscópica é bem nítida. A estereoscopia é muito usada nos trabalhos de fotogrametria.

4.a) A escala original da imagem de satélite (fornecida pelo INPE) é de 1:3.704.000. Para trabalhos de interpretação são feitas ampliações dessa escala até 1:250.000.

4.b) A escala original da imagem de RADAR é de 1:400.000; também são feitas ampliações dos originais até a escala 1:250.000.

4.c) As fotos convencionais apresentam grande diversidade em escalas.

5.a) As imagens de satélite apresentam uma excelente visão panorâmica (uma cena = 185 x 185 km).

5.b) Uma imagem de RADAR também oferece uma excelente visão panorâmica.

5.c) Não é possível obter uma visão panorâmica comparável àquelas obtidas com imagens de LANDSAT e RADAR. Para melhorar a visão panorâmica são montados fotomosaicos.

6.a) Pequenos cursos d'água não são reconhecíveis (largura ± 30 metros) é necessário levar em conta a resolução do sensor.

6.b) Pequenos cursos d'água são difíceis de ser reconhecidos; a interpretação é melhor do que nas imagens Landsat.

6.c) Pequenos cursos d'água podem ser reconhecidos nitidamente em fotos aéreas de escala grande.

7.a) A sombra é que confere às imagens a impressão de relevo.

7.b) O comprimento da sombra de um objeto aumenta, proporcionalmente, com o aumento da altura do objeto e com o aumento da distância horizontal antena-objeto imageado. A sombra ajuda na identificação do relevo.

7.c) O comprimento da sombra é diretamente proporcional à altura dos objetos e à hora em que o objeto foi imageado (ver item 4.6).

8.a) Áreas sob sombras não podem ser interpretadas visualmente. Por meio de processos digitais é possível analisar as sombras separadamente.

8.b) Áreas sob sombras não podem ser analisadas.

8.c) Áreas sob sombras podem ser razoavelmente analisadas.

9.a) As condições da superfície: tipos de solos e tipos de rochas podem ser estudadas em âmbito geral, sendo possível analisar as alterações com o decorrer do tempo, pois, existem imagens de Landsat a cada 18 dias.

9.b) Condições da superfície, tipos de solos e tipos de rochas também podem ser estudadas em âmbito geral nas imagens de RADAR, as quais apresentam desvantagens em relação ao Landsat porque se dispõe apenas de um voo radargramétrico da região.

9.c) Condições da superfície — umidade do solo, tipos de solo, tipos de vegetação, tipos de rochas — podem ser melhor estudadas em fotos. Por meio das fotos pode-se analisar a evolução desses aspectos, já que existem fotos de várias épocas e escalas.

10.a) As coordenadas cartográficas, impressas nas imagens Landsat, não são de confiança, servindo apenas para localização grosseira de cada imagem.

10.b) As coordenadas cartográficas impressas nos mosaicos de RADAR, permitem comparação com as cartas do mapeamento sistemático do País.

10.c) As fotos não têm pontos com coordenadas cartográficas impressas na imagem.

11.a) A análise das imagens Landsat pode ser feita por interpretação visual ou por processos digitais. O sensor Landsat apresenta facilidade para o uso de processos digitais, uma vez que todos os originais estão armazenados em fitas (ver item 2.5).

11.b) A interpretação visual é o processo mais utilizado para a análise das imagens de RADAR. Os processos analíticos são pouco usados no Brasil.

11.c) As fotos aéreas podem ser analisadas por interpretação visual (método mais usado no Brasil).

CAPÍTULO V

MAPEAMENTO GEOLÓGICO CONVENCIONAL

5.1 Introdução

Mapeamento geológico convencional é o método usualmente adotado na maioria dos trabalhos de produção desses mapas.

A grande maioria das entidades que trabalham com mapeamento geológico usam as fotografias aéreas no desenvolvimento dos seus trabalhos; o geólogo deve ter bom conhecimento de fotogrametria e bastante experiência em fotointerpretação. (ref. |32|, pág.26; ref. |33|, pág.9).

"O mapeamento convencional limita-se à fotointerpretação visual e ao uso de aparelhos simples (estereoscópicos de bolso ou de espelhos)."

Segundo (ref. |34|, pág.5), o mapeamento geológico convencional caracteriza-se pelas etapas:

- 1º - planejamento;
- 2º - levantamento, coleta de dados e amostragem;
- 3º - preparação dos mapas, apresentação.

5.2 Coleta de dados existentes, úteis para o mapeamento

- a) Mapas topográficos planialtimétricos disponíveis.
É necessário analisar a escala desses mapas e,

além disso, verificar o método pelo qual foram feitos, analisando sua precisão em locais aleatórios (verificações a partir de fotos aéreas).

b) Pesquisa bibliográfica.

Verificar se existem trabalhos geológicos, geomorfológicos e outros levantamentos afins.

c) Fotografias aéreas.

Investigar com as firmas de aerolevanteamento, quem tem as fotografias da área de interesse.

É preciso que o profissional esteja ciente do tipo de fotografias aéreas necessárias, das condições de obtê-las, seu preço, a escala e a qualidade das fotos (aspectos geométricos e radiométricos).

d) Visitar a área, a fim de reconhecê-la e obter permissão para a execução do trabalho de campo.

e) Avaliar o provável custo e o tempo necessário à execução do projeto.

f) Executar uma fotointerpretação preliminar, obedecendo aos seguintes itens (ref. |35|, pág.26):

- 1 - análise das estradas existentes no local;
- 2 - rede de drenagem;
- 3 - extensão dos afloramentos de rochas;
- 4 - cobertura por vegetação;
- 5 - definição preliminar do contatos geológicos;
- 6 - medição da direção e ângulo de mergulho das camadas;
- 7 - sistema de fraturamento;
- 8 - esboço estrutural.

5.3 Missão de campo (ref. [36], pág. 286).

a) a eficiência da missão de campo depende, em grande parte, da experiência e criatividade do pesquisador. Um geólogo inexperiente se vê tentado, com frequência, a percorrer o terreno e anotar aquilo que mais lhe chame a atenção. Quando esse geólogo, algumas semanas depois, começa a preparar o mapa geológico, descobrirá que não se lembra de tudo que viu no campo ou como era exatamente. Em tais casos, é obrigado a voltar ao campo e fazer o que já deveria ter feito na primeira etapa.

b) Em todo caminhamento é necessário que o geólogo observe todos os detalhes, não respondendo apenas às dúvidas da fotointerpretação, mas analisando tudo o que existe na realidade na região (aspectos litológicos, estruturais, geomorfológicos e solos).

c) A equipe de campo é obrigada a preparar um relatório contínuo e minucioso de todo o trabalho, além de coletar amostra para análise em laboratório.

d) Nesta etapa, também, são desenhados os contatos das camadas estratigráficas e a posição em que se encontram os diferentes tipos litológicos.

e) As equipes de campo geralmente seguem as estradas existentes no local. Quando não existem estradas, seguem os rios, estes, por sua vez, tendo certas vantagens, pois, muitas vezes, já se percebe o tipo de rochas subjacentes, isto no caso de barrancos nus apresentarem, visivelmente, as camadas, cuja posição estratigráfica também pode melhor ser

observada. Isto tudo são fatores que dependem do nível de detalhe requerido no trabalho. Preferem-se as estradas pela facilidade de locomoção.

f) Principalmente em regiões de clima tropical, deve-se usar os rios, levando em conta a dificuldade de encontrar afloramentos pelas estradas.

g) Quando não existem estradas e rios suficientes formando uma rede de pesquisa, apela-se para outros meios, como a existência de clareiras no mato (método muito usado nos trabalhos da Amazônia).

h) Nas regiões onde não se tem rios suficientes, muitas vezes usam-se as pesquisas com furos a trado, abertura de trincheiras ou então os processos geofísicos.

5.4 Grau de precisão do trabalho de campo

É importante levar em consideração este assunto durante a maioria das explorações de campo e de escritório. É necessário que se analisem os seguintes itens:

a) Cada nível de precisão ou escala de um mapa exige um número "x" de pontos de apoio.

b) Num mapa não é necessária uma precisão maior do que essa que se pode apreciar com a escala do mapa. Em nenhum mapa pode-se apreciar pormenor algum que tenha sido cartografado, no campo, por métodos mais exatos do que aqueles aplicados no resto dos dados do mapa.

Quando nos referimos à precisão num mapeamento, é necessário distinguir dois aspectos importantes:

- 1 - precisão geométrica — Trata-se da localização exata de um pormenor e, ao mesmo tempo, da definição de suas dimensões e forma.
- 2 - precisão na interpretação — Refere-se à autenticidade na avaliação (independente da forma e do tamanho); o que é necessário é saber o que se está analisando. Exemplo: O geólogo afirma ser um granito o que, na realidade, é um arcóseo.

5.5 Possíveis dificuldades no mapeamento

a) Depende da região a ser mapeada, quanto às facilidades de acesso à região, como:

- densidade de estradas no local;
- condições de tráfego;
- distância física da região a ser mapeada até o escritório;
- quantidade e qualidade de material já existente, à disposição para o início do trabalho.

b) Condições da equipe no campo:

- meios de locomoção do pessoal de campo;
- quantidade e qualidade dos instrumentos (material de escritório existente) que possam facilitar parte do trabalho de campo.

c) Problemas na obtenção do material já existente:

- burocracia existente nos órgãos possuidores do material;

- problema de correspondência: a demora até que o interessado receba o pedido ou as informações;
- necessidade de o interessado ter que ir pessoalmente ao local para adquirir o material, o que aumenta o preço do material devido ao preço das passagens;
- quantidade de documentos exigidos, comprovando o objetivo do trabalho;
- em termos financeiros, geralmente se torna mais barato quando é feito o mapeamento de uma grande área. Em áreas pequenas usa-se apenas uma parte da imagem.

5.6 Definições de características geológicas

a) Rochas magmáticas ou ígneas

Provêm da consolidação do magma (magma = constituído de soluções complexas que ocorrem no interior da crosta terrestre, ocupando espaços definidos e individualizados). São, por isto, de origem primária. (ref. |37|, pág.36).

b) Rochas sedimentares

São aquelas formadas a partir do material originado da destruição erosiva de qualquer tipo de rocha, material esse que deverá ser transportado e posteriormente depositado em ambientes de sedimentação da superfície terrestre. (ref. |38|, pág.41).

c) Rochas metamórficas

Tanto as rochas ígneas como as sedimentares podem ser levadas, por processos geológicos, a condições diferentes daquelas nas quais se formaram. Essas rochas sofrem transformações sob ação de novas condições de temperatura, pressão, presença de agentes voláteis ou fortes atritos, adaptando-se, assim, a essas novas condições. Essa adaptação é que dá origem à formação das diferentes rochas metamórficas.

(ref. |39|, pág. 44).

d) Dobras

São ondulações ou convexidades e concavidades existentes em corpos rochosos originalmente planos. Tais estruturas são melhor exibidas em rochas metamórficas, mas podem ocorrer em qualquer outro tipo, como rochas vulcânicas, ígneas e seus equivalentes metamorfizados. (ref. |40|, pág.44).

e) Lineamentos

São quaisquer linhas nas fotos aéreas estruturalmente controladas. Esses lineamentos que aparecem nas fotos aéreas, podem ser: segmentos retilíneos de um curso de água; alinhamentos de lagos, pântanos ou colinas; saltos ou corredeiras perpendiculares aos cursos dos rios; alinhamentos de formações vegetais. (ref. |41|, pág.31).

f) Falhas

As fraturas ou cisalhamentos das rochas são os planos ao longo dos quais as paredes das rochas se deslocam entre si. Portanto, o aspecto essencial para a existência de uma falha é a ocorrência do movimento diferencial entre blocos, paralelos à superfície de fratura (ref. |42|, pág.

81).

As falhas de um modo geral ocorrem por compressão, distensão ou torção.

g) Juntas ou diáclases

São planos ou superfícies de fraturas que dividem as rochas e ao longo dos quais não ocorrem deslocamentos das paredes rochosas paralelamente aos planos de fraturas ou, se esses deslocamentos ocorrem, eles são mínimos e não visíveis. (ref. |43|, pág.76).

h) Discordância

É uma interrupção temporal em uma seqüência estratigráfica, resultante de mudança no regime, provocando a cessação da deposição durante um considerável intervalo de tempo, normalmente implicando soerguimento e erosão, com perda de alguma parte do registro previamente formado. (ref. |44|, pág.157).

i) Dique

Massa rochosa de forma tabular discordante, que preencha uma fenda aberta seccionando outra rocha préexistente.

5.7 Seções estratigráficas

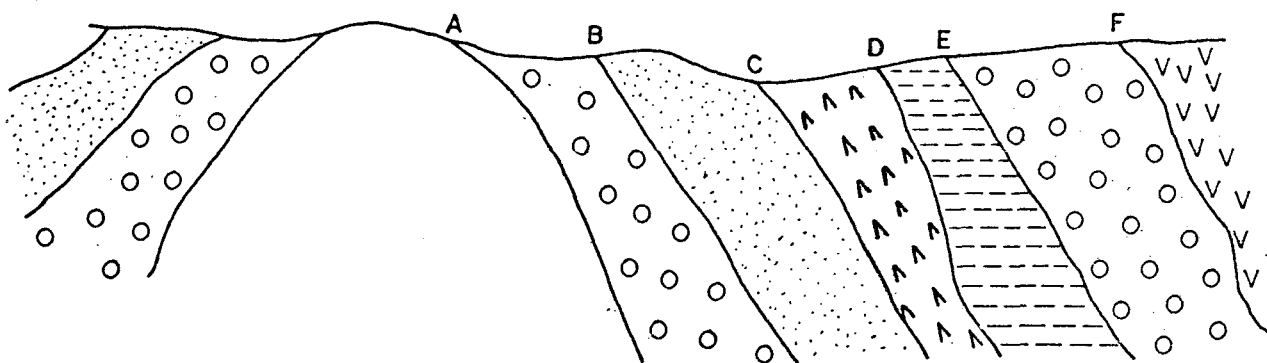
As seções estratigráficas nos dão uma noção clara das rochas existentes, da sucessão das camadas e da posição como se apresentam os afloramentos locais.

As seções estratigráficas podem ser:

a) Seção estratigráfica simples

É aquela que se dispõe, continuamente, ao longo de uma reta. Para que ocorra este tipo de seção estratigráfica, é preciso que tenhamos afloramentos contínuos e bastante extensos ao longo de um alinhamento.

FIGURA II



A figura II é um exemplo típico de seção estratigráfica simples; pois, medimos o trajeto de "A" até "F" ao longo de uma reta.

b) Seção estratigráfica composta.

O mais comum é que os afloramentos estejam dispersos; assim sendo, é necessário ligar porções desta seção em lugares diferentes. Esta seção formada de partes medidas em vários locais é denominada "seção estratigráfica composta".

5.8 Maneira de medir a espessura estratigráfica

A espessura estratigráfica é de grande importância nos trabalhos de geologia; pois serve de base para atividades futuras, como, por exemplo:

a) Se a camada estratigráfica for um minério explorável, é necessário conhecer a espessura e a profundidade dessa camada para verificar se a exploração dará lucro.

b) Na construção civil (prédios, túneis, barragens), é necessário conhecer a espessura das camadas para ter subsídios a respeito da locação e da obra ou da necessidade de eventuais obras adicionais em camadas pouco resistentes.

Medição da espessura estratigráfica nos diferentes casos:

a) A camada estratigráfica se apresenta exatamente na horizontal. A espessura estratigráfica é simplesmente a diferença de nível entre um ponto da parte superior da camada e outro ponto da parte inferior desta camada.

b) A camada é exatamente vertical. É necessário, apenas, medir a distância horizontal entre os pontos limites desta camada.

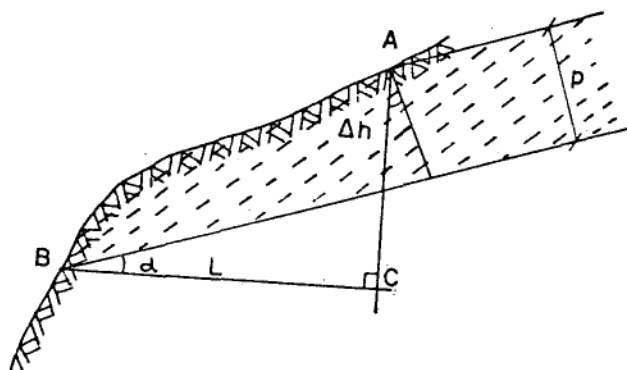
c) A camada estratigráfica apresenta-se inclinada em relação à vertical (caso mais comum). Nestes casos, é conveniente que o intérprete siga um roteiro para a execução do trabalho:

- determinação do ângulo de mergulho;
- determinação da diferença de altitude (Δh) entre os pontos "A" e "B" aflorantes da camada (limites da camada). Obs.: Camada = unidade estratigráfica; Essa diferença de altitude (Δh) geralmente é medida por processos de campo ou pode ser medida fotogrametricamente;
- ao mesmo tempo, medimos a distância horizontal entre os referidos pontos.

Nota: Se medirmos essas distâncias pelo processo fotogramétrico temos que levar em consideração as correções existentes nas fotos.

FIGURA III

BC = L = distância horizontal
 AC = Δh = diferença de altitude
 α = ângulo de mergulho
 p = espessura estratigráfica
 $p = (\Delta h - L \text{ sen } \alpha) \text{ cos } \alpha$



5.9 Determinação do ângulo de mergulho

Definição de ângulo de mergulho

Ângulo de mergulho de uma camada é o ângulo de máxima declividade desta camada; é medido em um plano perpendicular à direção da camada.

Ângulo de mergulho é um pormenor muito importante na implantação de obras de construção civil, corte de estruturas rochosas para a construção de estradas, quando é feito um corte vertical nas camadas.

5.9.1 Método de campo para determinação do ângulo de mergulho

No campo, para obter-se o ângulo de mergulho, coloca-se a bússola horizontalmente, orientada com a linha norte-sul paralela ao bordo de afloramento do estrato, com sua frente em um plano perpendicular à direção do estrato.

A bússola nos dá a orientação horizontal do plano de estratificação. o clinômetro nos dá o ângulo que este plano de estratificação forma com o horizonte. Se o clinômetro for do tipo de fricção, o ângulo será lido numa escala interna semicircular oposta a zero do nônio.

5.9.2 Método fotogramétrico

Para medir o ângulo de mergulho de uma camada em fotos aéreas, a camada terá que coincidir com a superfície topográ-

fica ou então ter no mínimo dois pontos "A" e "B" visíveis, coincidentes com o plano da camada. Esses pontos devem ser tais que possamos avaliá-los em altitude e, conseqüentemente, obter a diferença de cota entre eles e a distância horizontal que os separa.

Fórmulas:

$$\text{tg}(\hat{\text{ângulo de mergulho}}) = \frac{\text{distância vertical}}{\text{distância horizontal}}$$

$$\text{tg}\alpha = \frac{h}{d} \quad (\text{ex. Fig.III})$$

α = ângulo de mergulho;

h = distância vertical entre "A" e "B" = \overline{AC} → (ver ítem 4.7);

d = distância horizontal entre "A" e "B".

No caso de o desnível entre "A" e "B" ser mínimo a fórmula para determinação do ângulo de mergulho será:

$$\text{tg}\alpha = \frac{H \cdot \Delta p}{b \cdot d}$$

(ref. |45|, pág. 58)

Para os casos em que os desníveis são consideráveis usamos a fórmula

$$\text{tg}\alpha = \frac{H \cdot \Delta p}{d(b + \Delta p)}$$

(ref. |46|, pág.58)

H = altura de vôo acima do terreno;

Δp = diferença de paralaxe entre "A" e "B";

b = fotobase corrigida e ajustada ao ponto mais baixo;

d = distância horizontal entre "A" e "B" medida no terreno.

No caso em que se conhece a altura de vôo, usamos a fórmula:

$$\text{tg}\alpha = \frac{f \cdot \Delta p}{d'(b + \Delta p)}$$

(ref. |47|, pág.54)

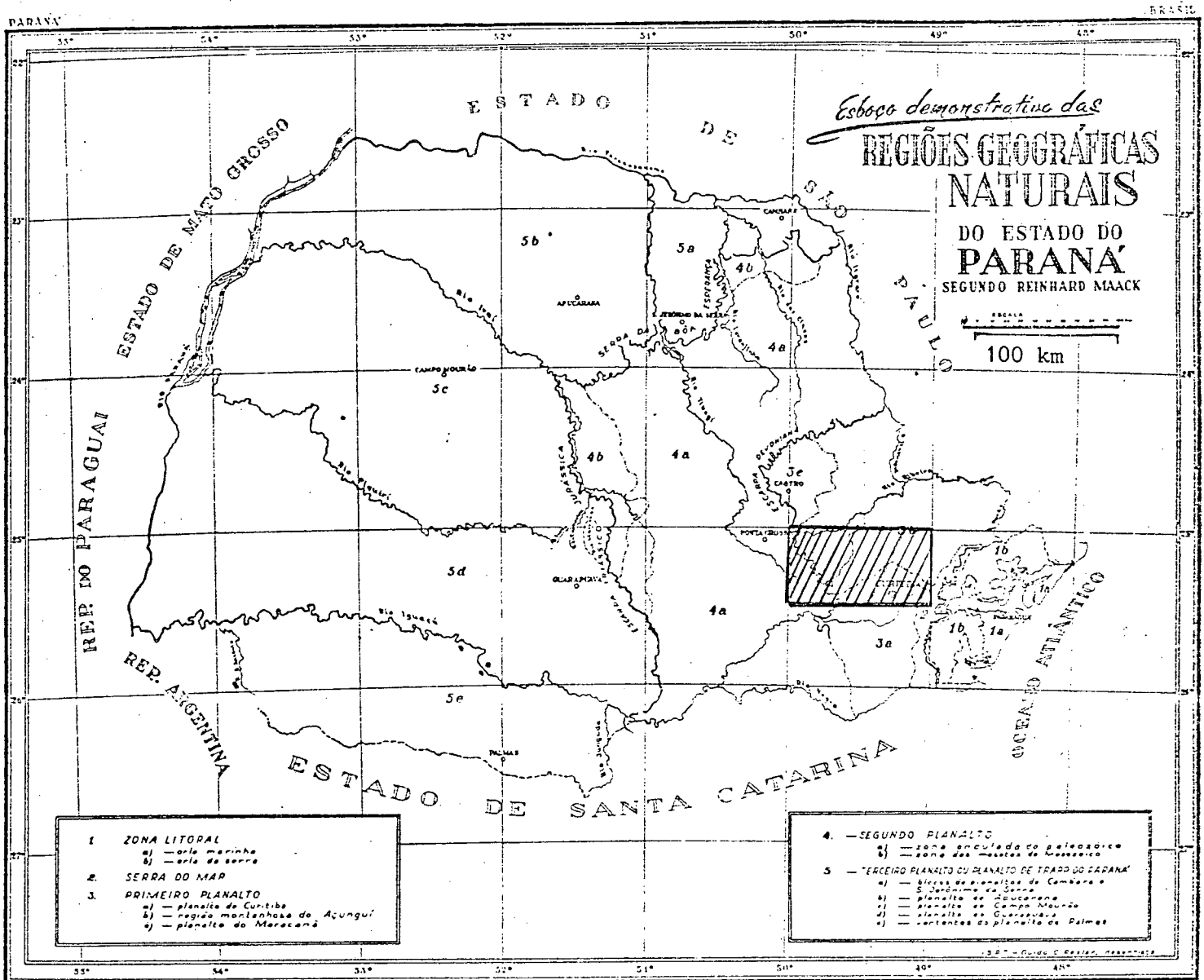
f = distância focal;

d' = distância horizontal entre "A" e "B" medida na escala da foto.

CAPÍTULO VI

ÁREA DE TESTES E MATERIAL DISPONÍVEL

6.1 Localização da área de testes



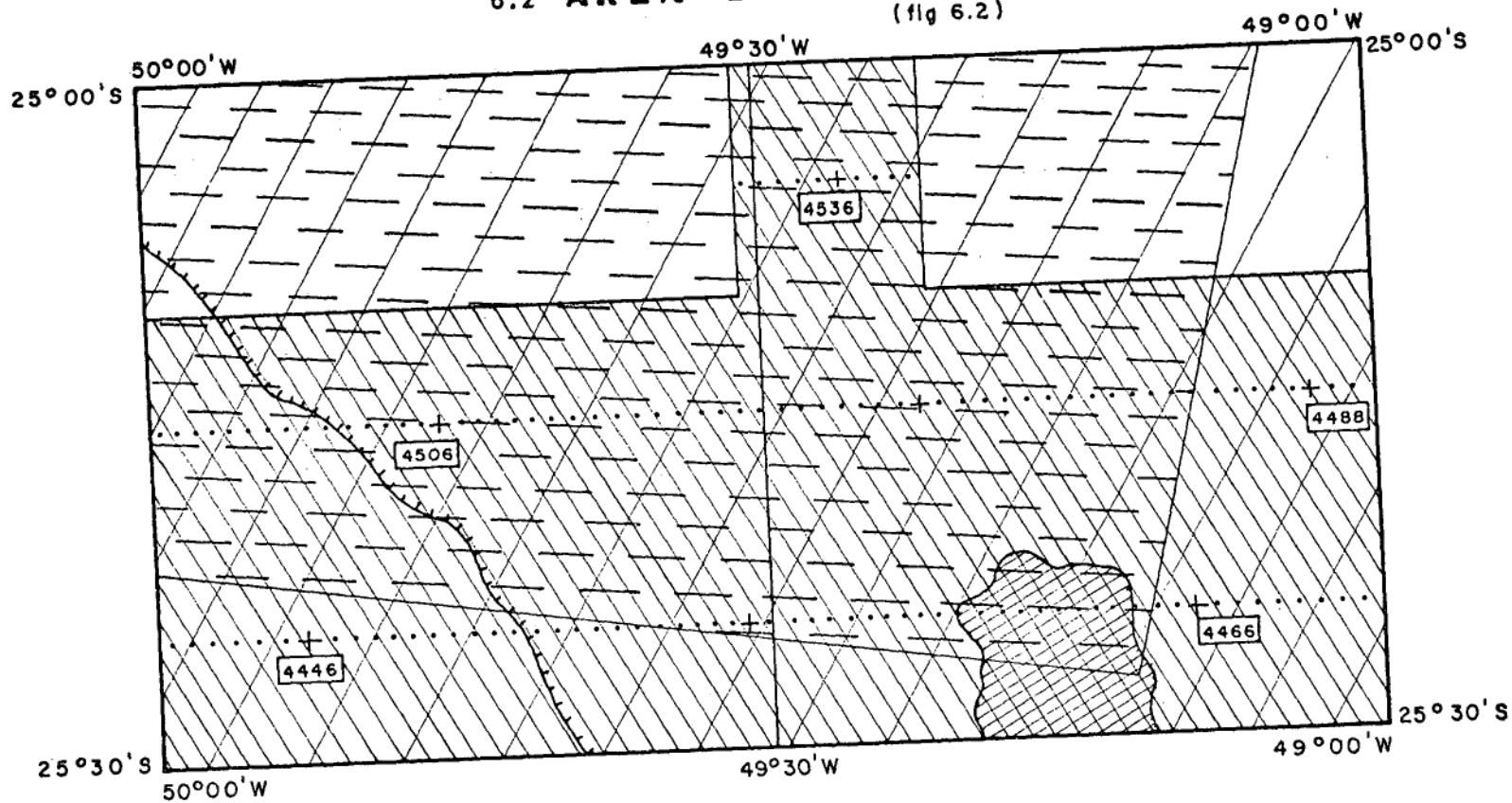
INSTITUTO DE BIOLOGIA E PESQUISAS TECNOLÓGICAS

FIGURA 6.1 (ref. [48], fig. 11)


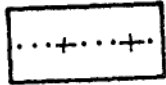




Legenda Área de testes

6.2 ÁREA DE TESTES

(fig 6.2)



LEGENDA

- | | | | |
|--|---|---|---|
| <p>1</p>  | <p>ARÉA COBERTA COM
MOSAICOS RADAR</p> | <p>4</p>  | <p>EIXO DAS
FAIXAS DE VÔO</p> |
| <p>2</p>  | <p>ARÉA COBERTA COM
IMAGENS LANDSAT</p> | <p>5</p>  | <p>PONTO DE REFERÊNCIA
CIDADE DE CURITIBA</p> |
| <p>3</p>  | <p>ARÉA COBERTA COM
FOTOS AÉREAS</p> | <p>6</p>  | <p>SERRA DE SÃO LUIS
DO PURUNÃ</p> |

ESCALA



4506 NÚMERO E POSIÇÃO
APROXIMADA DE UMA FOTO
UTILIZADA.

6.3 Razões da escolha desta área

1º) A região situa-se próximo a Curitiba. Isso facilitou o trabalho em caso de dúvidas nas interpretações.

2º) Dispunha-se de mapas geológicos, escala de 1:100.000, de toda a região, e mapas na escala de 1:50.000, de uma parte da área.

3º) Apresenta várias características diferentes em termos geológicos, como: Formação Furnas, bacia sedimentar de Curitiba, grandes corpos graníticos, rochas do grupo Açungui e rochas do embasamento cristalino.

4º) A área apresenta-se bastante diversificada com respeito às feições geomorfológicas: planalto de Curitiba, Serra de São Luís do Purunã, região montanhosa do grupo Açungui e dos corpos graníticos intrusivos e, região mais plana dos arenitos da Formação Furnas.

5º) É uma região de interesse econômico. Ex.: as pedreiras de calcário.

6.4 TABELA do material disponível para a tese

(Continua)

TIPO DE MATERIAL	NÚMERO DE UNIDADES E ESCALA	ÓRGÃO FORNECEDOR OU DE CONSULTA - ENDEREÇO	PREÇO POR UNIDADE MANEIRA DE AQUISIÇÃO
Fotos convencionais	2 faixas de voo = 30 fotos Escala = 1/70.000	ITC (Instituto de Terras e Carto- grafia do Paraná) End.: Rua Desembargador Motta, 3384 - Fone: 234-1611 - Curitiba	Preço: 400,00 Doação
Imagens de RADAR - Nomenclatura: SG.22-X-D SG.22-X-C	2 mosaicos semi controlados Off-set escala 1/250.000	Base de apoio do projeto: RADAMBRASIL de Florianópolis End.: R. Felipe Schmidt, 115 Fone: (0842) - 22-9180 - Florianópolis	Preço: 50,00 Compra
	2 mosaicos semi controlados papel fotográfico	Cruzeiro do Sul Av. Almirante Frontin, 381 Bonsucesso - Rio de Janeiro Fone: (021) 270-1537	Preço: Doação

(Continuação)

TIPO DE MATERIAL	NÚMERO DE UNIDADES E ESCALA	ÓRGÃO FORNECEDOR OU DE CONSULTA - ENDEREÇO	PREÇO POR UNIDADE MANEIRA DE AQUISIÇÃO
Imagens LANDSAT (MSS)	1 cena - escala 1/1.000.000	Escola de Florestas - UFPR End.: Bairro Juvevê	Preço: 4.100,00 Empréstimo
Sistema WRS	Bandas 5 e 7	Fone: 252-7022 - Curitiba	
	1 cena - escala 1/500.000	IPARDES End.: Curitiba	Preço: 8.500,00 Empréstimo
	Bandas 5 e 7	Fone: 252-3714	
	1 cena - 1/500.000	Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - PR	Preço: 8.500,00 Uso no laboratório do curso
	Bandas - 4, 5, 6, 7	Fone: 266-2122, ramal - 255	
	1 cena - 1/250.000	INPE (Instituto de Pesquisas Espaciais)	Preço: 17.200,00 Empréstimo
	Bandas 5 e 7	End.: Av. dos Astronautas, 1758 São José dos Campos - SP Fone: (0123) 22-9977	
	1 cena - 1/250.000	INPE	Preço: 17.200,00 Doação
	Bandas 5 e 7		

(Conclusão)

TIPO DE MATERIAL	NÚMERO DE UNIDADES E ESCALA	ÓRGÃO FORNECEDOR OU DE CONSULTA - ENDEREÇO	PREÇO POR UNIDADE MANEIRA DE AQUISIÇÃO
Cartas topográficas	8 unidades - 1/50.000	DSG (Diretoria do Serviço Geográfico do Exército) End.: R. Cleveland s/nº Morro Menino Deus - POA	Preço: 200,00 Doação
	2 unidades - 1/100.000	COMEC (Coord. da Região Metropolitana de Curitiba) End.: R. Comendador Araújo Edif. Everest. Fone: 233-3322	Preço: 200,00 Compra
Cartas Geológicas	2 unidades - 1/100.000	UFPR - Departamento de Geologia End.: UFPR - Centro Politécnico Biblioteca Geral	Preço: 200,00 Compra
Fotoíndice	1 fotoíndice escala 1/100.000	Escola de Florestas - UFPR Bairro Juvevê	Preço: 6.000,00 Empréstimo

OBS.: Preços dos materiais para outubro de 1981.

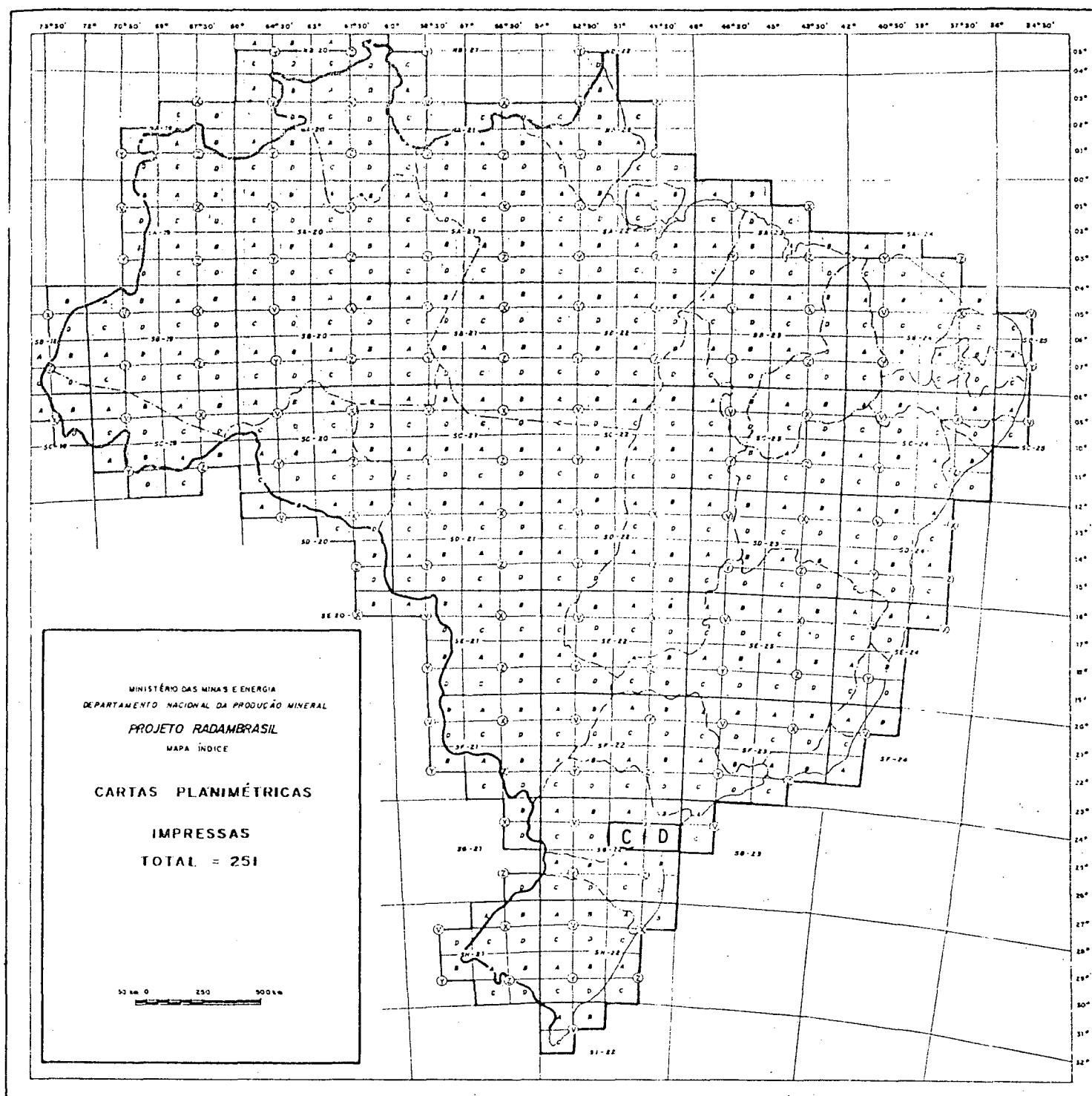
6.5 Figura ilustrativa dos mosaicos de RADAR

FIGURA 6.3 (ref. [49], pág. 41).

C e D - Mosaicos utilizados no trabalho.

6.6 Comentários sobre material disponível

a) As fotos disponíveis são do voo de 1963, num total de 30, que não recobrem totalmente a área.

b) Mosaicos semicontrolados de RADAR.

Cada unidade do mosaico de RADAR tem 1°00' em latitude de 1°30' em longitude. Devido à localização da área, foram necessários dois mosaicos de RADAR (ver fig. 6.3).

Além desse material, foi feito um estudo junto à sede do RADAM (dias 4 a 7 de janeiro de 1982), curso que teve o objetivo de aperfeiçoar o trabalho de análise das imagens de RADAR.

c) Landsat

Foi usada apenas uma cena de Landsat.

Sistema WRS - 237/77.

Sistema SRB - 192/29.

Além do material do Landsat apresentado na tabela, também foi feito um estágio no INPE (23 a 27 de novembro de 1981), recebendo-se, nesses dias, as informações e explicações sobre a metodologia adotada pela equipe de sensoriamento remoto daquele Instituto.

d) Fotoíndice

Material produzido pela firma de aerolevanteamento Aerodata.

e) Cartas topográficas

Uma parte da área está na região metropolitana de Curitiba. A DSG não fornece mais todas as cartas da região pelo fato de existirem as cartas da COMEC na região metropolitana.

6.7 Dificuldades encontradas na coleta de material

O maior problema foi conseguir as cartas topográficas de toda a região na mesma escala. A COMEC mapeia, exclusivamente, a região Metropolitana, deixando, em alguns locais, pequenas partes de uma quadrícula sem mapear. O Exército, por sua vez, deixou de imprimir as cartas dessa região, por ser área da COMEC.

Imagens do Landsat

No início, não se conhecia o pessoal do INPE, tornando-se difícil o contato com esse Instituto. O segundo problema foi o preço das imagens; não havia condições de comprá-las.

Mosaicos de Imagens de RADAR

Antes deste trabalho não havia maior relacionamento entre a equipe de sensoriamento remoto do projeto RADAMBRASIL e o curso de Pós-Graduação.


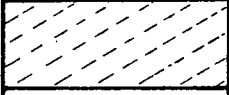
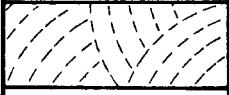
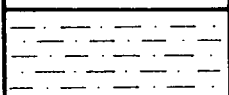
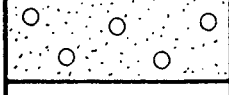
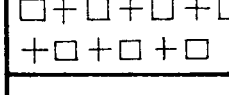

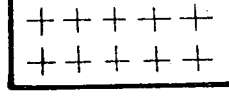
Em síntese, a grande dificuldade foi a aquisição de material e o contato com os órgãos possuidores do material necessário ao trabalho.

CAPÍTULO VIII

ANÁLISE DA ÁREA DE TESTES. USO DOS TRÊS SENSORES.

7.1 Simbologia litológica adotada (ref.mapa da CPRM)

TABELA I

	1- Cascalhos, areais, argilitos, arcóseos e margas. (Pleistoceno - Formação Guabirotuba)
	2- Diamictitos, tilitos, ritmitos, argilitos e siltitos. (Paleozóicos - Grupo Tubarão - Subgrupo Itararé)
	3- Arenitos médios a grosseiros com estratificação cruzada, localmente conglomeráticos. (Devoniano - Formação Furnas)
	4- Siltitos, siltitos-argilosos, localmente argílico-arcoseanos. (Cambro-Ordoviciano - Formação Camarinha)
	5- Conglomerados (Cambro-Ordoviciano - Formação Camarinha)
	6- Granito Três Córregos. (Pré-cambriano Superior a Cambriano)
	7- Granito do Cerne. (Pré-cambriano Superior a Cambriano)
	8- Granito Cunhaporanga. (Pré-cambriano Superior a Cambriano)

-
- 9 - Metassedimentos siltico-argilosos, incluindo metassiltitos, filitos, metarritmitos e ardósias.
(Précambriano Superior - Grupo Açungui)
- 10 - Mármore dolomíticos contendo intercalações de mármore calcíticos e calcários.
(Précambriano Superior - Grupo Açungui)
- 11 - Metassedimentos siltico-argilosos contendo intercalações de metabásitos.
(Précambriano Superior - Grupo Açungui)
- 12 - Metassedimentos siltico-argilosos incluindo mármore, calco-xistos e xistos de metamorfismo de contato.
(Précambriano Superior - Grupo Açungui)
- 13 - Rochas gnáissicas incluindo augen-gnaisses, Hornblenda-gnaisses, biotita-gnaisses, milonito-gnaisses.
(Formação Setuva)
- 14 - Rochas xistosas incluindo biotita-xistos, muscovita-xistos, biotita-moscovita-xistos, moscovita-quartzo-xistos e quartzo-mica-xistos.
(Formação Setuva)
- 15 - Migmatitos embrechíticos e epibolíticos, contendo intercalação de outros tipos de migmatitos.
(Précambriano Indiviso)
- 16 - Quartzito.
(Précambriano Indiviso)

7.3 Seqüência adotada

Inicialmente havia apenas imagens nas escalas de 1/1.000.000 e 1/500.000, fato que dificultou a familiarização e visualização dos pormenores ou das características dos elementos das imagens.

Obs.: Aumentando-se a escala da imagem Landsat, não se aumenta a resolução do sistema.

Para maior familiarização, no início dos trabalhos, fizeram-se reduções dos aspectos mais importantes existentes nos mapas topográficos e geológicos à disposição.

Para essas reduções, foi utilizado o pantógrafo e o Sketchmaster, aparelhos de propriedade do curso de pós-graduação.

Essas reduções foram muito importantes. É impossível fazer comparações iniciais de trabalhos de fotointerpretação com mapas em escalas diferentes.

Nos primeiros dias do trabalho, foi gasto um tempo considerável para a adaptação à interpretação das imagens, tendo sido necessário fazer um estudo do que existia nessa área, analisando a bibliografia existente em termos de geologia.

Após algum tempo de adaptação à interpretação das imagens Landsat, o autor fez um curso de aperfeiçoamento no INPE.

7.4 Interpretação das imagens do Landsat

No INPE, inicialmente, foi feita uma análise da bibliografia existente sobre a interpretação visual das imagens

Landsat. (ref. [50], RPE/188) e (ref. [51], NTE 115).

Segundo os "experts" em Sensoriamento Remoto do INPE, o intérprete, antes de começar a interpretação, terá de avaliar a imagem, descobrindo, nessa etapa, o que ela lhe oferece.

Com auxílio dos intérpretes do INPE, foi realizada uma interpretação preliminar das imagens na escala de 1/250.000, canais 5 e 7.

7.4.1 Interpretação litológica (Apêndice A)

Conforme o costume da equipe do INPE, o trabalho de interpretação é feito traçando os limites diretamente na imagem. Este processo tem suas vantagens, pois as sobrecapas transparentes (*over-lays*) por melhores que sejam, não são totalmente transparentes, e além disso, sofrem distorções devido à dilatação do papel.

Para a interpretação litológica foram usados os canais 5 e 7, simultaneamente.

Foi feita a interpretação diretamente na imagem do canal 5. Este canal está na faixa da luz visível.

Paralelamente a essa interpretação, foi feita outra usando a imagem do canal 7, o qual imageia na faixa do infravermelho próximo.

Portanto, a razão da escolha dos canais 5 e 7, usados na maioria dos trabalhos de interpretação visual, está ligada ao fato de que o canal 7 (infravermelho próximo) e o 5 (luz visível) dão, cada um, um produto final diferente (ver item 2.9).

Como verificação das interpretações feitas a partir das imagens, usou-se o Sketchmaster, fazendo a comparação com o mapa geológico (escala 1/100.000 elaborado pela CPRM com a CCGP). Como já era esperado, sempre aparece alguma diferença nessas comparações, dependendo do local e da facilidade de visualização dos limites litológicos nas imagens.

Na maioria dos casos, esse processo de comparação ajudou a confirmar algum pormenor sobre o qual ainda havia dúvidas. Por outro lado, houve algum pormenor em que não se pôde concordar com os mapas já existentes.

Esse mapa foi elaborado a partir da interpretação de fotos aéreas e com apoio de campo apenas em partes da área. Os limites litológicos foram traçados por interpolação, a partir dos pontos de apoio existentes.

Nesse trabalho, pôde-se ver alguma discrepância, por exemplo, nos locais em que os mapas já apresentavam limites inseguros. Ex.: O limite dos migmatitos (14) com os metassedimentos siltico-argilosos, incluindo metassiltitos, filitos, metarrimitos e ardósias (Grupo Açungui).

Aqui se destaca a vantagem de usar os sensores do Landsat Radar e Fotos. Muitas vezes o limite é claramente visível nas imagens, quando, por métodos de campo, a área pode ser de difícil acesso, impossibilitando uma pesquisa local perfeita.

7.4.2 Limites fáceis de visualização (LANDSAT)

(Numeração das unidades litológicas conforme Tabela I.)

Ordem crescente de dificuldades:

19) *Conglomerados - Formação Camarinha (5)*

- com (4) - siltitos (Formação Camarinha);
- com (9) - metassiltitos (Grupo Açungui).

29) *Arenitos - Formação Furnas (3)*

- com (2) - diamictitos (Subgrupo Itararé);
- com (4) - siltitos (Formação Camarinha);
- com (5) - conglomerados (Formação Camarinha);
- com (9) - metassedimentos incluindo metassiltitos (Grupo Açungui);
- com (6) - Granito Três Córregos (PréCambriano a Cambriano);
- com (10) - mármore dolomíticos (Grupo Açungui);
- com (8) - granito Cunhaporanga (PréCambriano a Cambriano).

39) *Mármore dolomíticos - Grupo Açungui (10)*

- com (14) - rochas xistosas (Formação Setuva);
- com (11) - metassedimentos com metabásitos (Grupo Açungui);
- com (9) - metassiltitos (Grupo Açungui);
- com (8) - granito Cunhaporanga (PréCambriano a Cambriano);

- 49) Rochas gnáissicas - Formação Setuva (13)
- com (14) - rochas xistosas (Formação Setuva);
 - com (11) - metassedimentos com metabásitos (Grupo Açungui).
- 59) Metassedimentos siltico-argilosos incluindo mármores Grupo Açungui (12)
- com (9) - metassiltitos (Grupo Açungui);
 - com (6) - granito Três Córregos (PréCambriano a Cambriano);
 - com (10) - mármores dolomíticos (Grupo Açungui).
- 69) Siltitos, siltico-argilosos - Formação Camarinha (4)
- com (3) - metassiltitos (Grupo Açungui);
 - com (14) - arenitos (Formação Furnas).
- 79) Granito Três Córregos - PréCambriano Superior a Cambriano (6)
- com (10) - mármores dolomíticos (Grupo Açungui);
 - com (12) - metassedimentos Siltito-argilosos incluindo mármores (Grupo Açungui).

7.4.3 Limites difíceis de visualização

(Numeração das unidades litológicas conforme Tabela I).

Ordem crescente de dificuldades:

- 19) Migmatitos embrechíticos - PréCambriano Indiviso (15)
- com (1) - cascalhos (Formação Guabirotuba).

- 29) *Granito Três Córregos - Précambriano Superior a Cambriano (6)*
- com (11) - metassedimentos com metabásitos (Grupo Açungui).
- 39) *Metassedimentos com metabásitos - Grupo Açungui (11)*
- com (9) - metassedimentos com metassiltitos (Grupo Açungui).
- 49) *Granito do Cerne - Précambriano Superior a Cambriano (7)*
- com (9) - metassedimentos com metassiltitos (Grupo Açungui).

7.5 Traçado da rede de drenagem (ref. Apêndice B)

Inicialmente, houve dificuldades para a visualização da rede hidrográfica, pois, os rios da região são relativamente pequenos. Essa parte do trabalho trouxe vantagens, pois auxiliou como um reforço nas classificações litológicas. Exemplos: A região dos metassedimentos síltico-argilosos apresenta alta densidade hidrográfica e rios tortuosos. (ver região central, Apêndice B)

A região dos granitos apresenta baixa densidade hidrográfica e rochas resistentes à erosão; com frequência, os rios seguem os diques ou falhas.

Na região de cascalhos e arcóseos (bacia de Curitiba), a densidade hidrográfica é relativamente baixa, com rios bastante tortuosos. A não-existência de diques influi muito no padrão de drenagem. (ver região Sudeste, Apêndice B).

Na região dos migmatitos embrechíticos está a mais baixa densidade hidrográfica da área de testes.

Na região dos arenitos aparecem rios longos, apresentando curvas mais amenas, curvas típicas de terreno arenítico. (ver região Sudoeste do Apêndice B).

A densidade hidrográfica é relativamente baixa nessa região.

Para o traçado da rede hidrográfica, um dos principais elementos que deve ser considerado é o problema das sombras; pois estas nos dão fortes sensações de relevo. Além das sombras, devem sempre ser levados em considerações os elementos textura, forma e tonalidades de cinza.

7.6 Interpretação dos mosaicos de RADAR

Obs.: São chamados mosaicos de RADAR, ao invés de imagens RADAR, porque são formados pela junção de faixas (*strips*) de RADAR, as quais são obtidas por imageamentos contínuos na hora do voo.

O início desta etapa teve lugar na sede de apoio do projeto RADAMBRASIL, em Florianópolis, com introdução à metodologia de interpretação dos mosaicos de RADAR.

Primeiro passo - O uso da estereoscopia na interpretação de imagens de RADAR

Tem-se os mosaicos de RADAR; ao mesmo tempo dispõe-se das faixas (bandas de RADAR ou *strips*) da mesma região. Usa-se o estereoscópio de bolso tendo, numa ocular, a faixa de RADAR e, na outra, o próprio mosaico de RADAR. Obtém-se,

assim, a estereoscopia, simultânea de um pouco mais da metade da faixa; troca-se no estereoscópio o lado do *strips* em relação ao mosaico, analisando-se, desta maneira, toda a área atingida por uma faixa.

As faixas de RADAR têm, ainda, entre elas, um recobrimento aproximado de 20%; desta maneira, pode-se obter a estereoscopia de toda a região de interesse dos mosaicos.

Percebe-se que não é a verdadeira estereoscopia que se conhece no uso de fotografias aéreas, sendo chamada (pela equipe de RADAM) de falsa estereoscopia.

Como essas faixas são de uso exclusivo do RADAM, praticamente ninguém se refere ao recurso à estereoscopia na interpretação de imagens da RADAR.

7.6.1 Traçado da rede de drenagem (pref. Apêndice D)

Este é o primeiro passo na interpretação geológica do sensor de RADAR, segundo metodologia adotada no RADAM.

Na imagem de RADAR, um dos aspectos característicos, ou seja, que melhor aparecem nesses sensores, são os pormenores estruturais e geomorfológicos. Este é o primeiro motivo pelo qual os intérpretes iniciam o trabalho pela rede de drenagem; a segunda razão é a possibilidade de usar a estereoscopia (caso específico do Paranã).

Para quem já havia traçado a rede de drenagem nas imagens do Landsat, ao fazer a interpretação dos mosaicos de RADAR, o intérprete sente-se mais seguro porque neste sensor, ele visualiza, em parte, o relevo e percebe a profundidade dos rios.

Por outro lado, se não fosse o uso da estereoscopia, talvez a interpretação da rede de drenagem na imagem RADAR fosse até mais difícil do que no Landsat.

O Landsat, além de ter vários canais de imageamento, tem ainda o recobrimento repetido a cada 18 dias.

A interpretação dos mosaicos a RADAR foi mais rápida do que a interpretação das imagens Landsat; isso se justifica pelo fato de que a interpretação das imagens do Landsat foi feita (terminada) poucos dias antes de iniciar a interpretação das imagens de RADAR e, ainda mais, ambas imagens têm a mesma escala.

Para conclusão desta etapa faz-se a comparação (pelo Sketchmaster) com as cartas topográficas da DSG e da COMEC. Como as cartas topográficas existentes são na escala de 1/50.000 ou 1/100.000, é lógico que pelas imagens não se pode esperar a mesma ordem de minudência. Dos rios interpretados no Radar houve pouca discrepância com o traçado dos rios existentes nas cartas. Houve pequenos desvios na região dos arenitos, região em que os rios são um tanto superficiais (não se destacam bem nas imagens).

Comparando os Apêndices (B e D), percebe-se que a imagem de Radar é mais eficiente do que a do Landsat para o traçado da rede de drenagem. Todos os rios interpretados na imagem do Landsat foram detectados no RADAR. Nas imagens de RADAR algumas vezes foi possível interpretar rios de menor porte. Isto se justifica pela possibilidade de usar a estereoscopia e a diferença de resolução entre os dois sensores.

7.6.2 Interpretação dos limites litológicos (ref. Apêndice E)

Primeiramente, foi feita uma interpretação visual, sem o uso do estereoscópio, procurando-se nesta fase traçar os limites apenas em caráter preliminar.

Como foi mencionado no item anterior, a interpretação feita no sensor Landsat serviu de base para a interpretação dos mosaicos de RADAR.

Como a região já era conhecida, a situação ou localização das diferentes unidades litológicas foi bem mais imediata.

Depois dessa etapa preliminar, passou-se a usar o estereoscópio, analisando os pontos da etapa anterior, em que ainda havia dúvidas. O uso do estereoscópio auxilia, pois, este aparelho amplia os caracteres de textura, os arranjos de elementos texturais e a forma.

Como terceira etapa, compararam-se as interpretações feitas nas imagens de RADAR com o mapa da CPRM (escala 1/100.000) e o trabalho do RADAM (escala 1/1.000.000), este ainda não publicado. Nesta fase, houve a oportunidade para discussão do trabalho com a equipe que elaborou o mapa do RADAM, da mesma área, que está sendo analisada nesta pesquisa.

Esta etapa foi mais um reforço para a confirmação da veracidade do que está sendo apresentado neste trabalho, uma vez que não houve maiores discrepâncias entre um resultado e outro. Na interpretação dos mosaicos do RADAR, como na interpretação das imagens do Landsat, houve pequena discrepância com o mapa já existente. Exemplos:

19) O limite do granito do Cerne (7), região entre os metassedimentos, incluindo metassiltitos (9). (ver apêndice E).

29) O limite dos migmatitos (15) com os metassedimentos, incluindo metassiltitos (9). (ver apêndice E).

7.6.3 Comparação entre interpretações feitas sobre as imagens dos sensores do LANDSAT e de RADAR

A última etapa da interpretação litológica das imagens em escala pequena foi a comparação dos resultados obtidos a partir de cada um. Houve muito pouca diferença entre uma interpretação das imagens de LANDSAT e a interpretação dos mosaicos de RADAR. Em alguns casos, o limite de uma unidade litológica era um pouco inseguro num sensor e já no outro este mesmo pormenor estava bem nítido. Exemplos:

19) O granito do Cerne (7), região entre os metassedimentos incluindo metassiltitos (9), é bem nítido na imagem de RADAR e não aparece claramente nas imagens do LANDSAT (limite inseguro).

29) O limite entre os conglomerados (5), Formação Camarinha e os siltitos siltico-argilosos (4), aparece bem nas imagens do LANDSAT e não aparece tão nítido nos mosaicos de RADAR.

7.6.4 Limites de fácil visualização (no sensor de RADAR)

Numeração das unidades litológicas conforme tabela I.

Classificação - ordem crescente de dificuldades:

19) *Arenito - Formação Furnas (3)*

- com (8) - granito Cunhaporanga (Préambriano Superior a Cambriano);

- com (9) - metassiltitos (Grupo Açungui);

- com (10) mármore dolomíticos (Grupo Açungui);
- com (6) - granito Três Córregos (Précambriano Superior a Cambriano);
- Com (4) - siltitos (Formação Camarinha).

29) *Mármore dolomíticos - Grupo Açungui (10)*

- com (14) - rochas xistosas (Formação Setuva);
- com (11) - metassedimentos com metabásitos (Grupo Açungui);
- com (9) - Metassedimentos com metassiltitos (Grupo Açungui).

39) *Metassiltitos - Grupo Açungui (9)*

- com (13) - rochas gnáissicas (Formação Setuva).

49) *Granito do Cerne - Précambriano Superior a Cambriano (7)*

- com (9) . metassiltitos (Grupo Açungui).

59) *Quartzito - Precambriano Indiviso (16)*

- com (14) - rochas xistosas (Formação Setuva);
- com (10) - mármore dolomíticos (Grupo Açungui).

69) *Siltitos - Formação Camarinha (4) - Ver foto VI*

- com (3) - arenitos (Formação Furnas);
- com (5) - conglomerados (Formação Camarinha);
- com (9) - metassiltitos (Grupo Açungui).

7.6.5 Limites de difícil visualização (no sensor de RADAR)

Numeração das unidades litológicas conforme Tabela I.

Classificação - Ordem crescente de dificuldades:

- 19) Rochas gnáissicas - Formação Setuva (13)
- com (11) - metabásitos (Grupo Açungui).

- 29) Metassiltitos - Grupo Açungui (9)
com (11) - metabásitos (Grupo Açungui).

- 39) Metassiltitos - Grupo Açungui (9)
- com (15) - migmatitos (Précambriano Indiviso).

- 49) Arenitos médios - Formação Furnas (3)
- com (2) - diamictitos (Subgrupo Itararé).

7.7 Interpretação das fotos aéreas

Decidiu-se trabalhar apenas em áreas amostrais para a interpretação das fotos aéreas, considerando a diferença de escala: 1/70.000 nas fotos aéreas e 1/250.000 nas imagens do Landsat e do RADAR.

Se fosse para analisar a região toda, usar-se-iam, no mínimo, 45 fotos, o que levaria muito tempo e ficaria difícil apresentar todos os resultados da interpretação de tantas fotos num trabalho como este.

Considerando essas restrições, decidiu-se fazer a interpretação apenas de duas áreas amostrais, ou seja:

1º) a foto 4536, sendo auxiliada na estereoscopia com as fotos 4534 e 4538 (região próxima ao meridiano $49^{\circ}30'W$);

2º) a foto 4506 - Para a análise estereoscópica desta foto foram utilizadas também as fotos 4504 e 4508 (região próxima à serra de São Luís do Purunã). (Ver pag. 57)

As demais fotos de que se dispunha para o trabalho ficaram apenas para consulta de eventuais pormenores.

7.7.1 Interpretação da rede de drenagem (ref. Apêndices G e H)

O traçado da rede de drenagem é um dos pontos fortes no uso de fotos aéreas, quando comparadas com as imagens de escala pequena (LANDSAT e RADAR); ou, então, quando comparadas com mapas da rede de drenagem feitas por métodos convencionais.

A foto aérea, quando analisada, estereoscopicamente, dá uma idéia nítida da rede hidrográfica; comparando esses resultados com métodos de campo, este último exigiria um trabalho fantástico.

Pelas fotos pode-se analisar até os rios de pequeno porte, ou seja, conforme a escala, reconhecemos até os pequenos arroios. Nesta escala de 1/70.000 já foi possível distinguir um número bem maior de rios do que nas imagens do LANDSAT e de RADAR.

Para verificação da diferença da quantidade de rios interpretados nas fotos e nas imagens do LANDSAT e de RADAR,

foi feita uma comparação por meio do Sketchmaster. Isto se comprova, visualmente, comparando os apêndices G e H com os apêndices B e D.

Com as fotos aéreas pode-se usar tanto o estereoscópio de espelhos como o estereoscópio de bolso para obter a estereoscopia. No escritório, usa-se, com freqüência, apenas o estereoscópio de espelho; ele dá uma visão mais ampla da região. Com este, é possível usar a barra de paralaxe com a qual se pode obter a diferença de nível entre os pontos de interesse.

O estereoscópio de bolso é muito usado para a análise estereoscópica de fotos, nos trabalhos de campo, porque é um aparelho fácil de transportar e oferece maior minudência da superfície.

7.7.2 Interpretação litológica (ref. Apêndice I e J)

Num contexto geral, a interpretação litológica de fotos aéreas convencionais para fins de mapeamento geológico regional é mais difícil, comparando-a com a interpretação feita nas imagens de LANDSAT e do RADAR, exigindo grande experiência do intérprete.

Para a interpretação de fotos aéreas tem-se que levar em consideração vários elementos que são de suma importância, tais como:

19) Aluviões e manto de intemperismo - depósitos fluviais, areias movediças ou estacionárias e o espesso manto de intemperismo.

29) Vegetação - As melhores áreas para interpretação geológica de fotografias são as regiões destituídas de vegetação. Uma vegetação densa pode ofuscar bastante as feições geológicas. É possível associar a vegetação às rochas subjacentes, sendo este um problema que exige muita experiência do intérprete, o qual é obrigado a considerar a estação do ano e o tipo de flora local.

39) Além desses elementos citados, tem-se que levar em consideração, ainda, a textura fotográfica, a forma das estruturas fotográficas, a tonalidade e o padrão de drenagem. Na interpretação de fotos aéreas, o padrão de drenagem tem grande importância, pois por meio dele é possível deduzir que tipo de rocha existe no local.

7.7.3 Avaliação dos limites litológicos

(Numeração das unidades litológicas conforme tabela I).

a) Foto 4506 - Apêndice I

a.1) Limites fáceis de visualização

Arenito - Formação Furnas (3)

- com (4) - siltitos (Formação Camarinha);
- com (5) - conglomerados (Formação Camarinha);
- com (9) - metassiltitos (Grupo Açungui) (ver, no Apêndice, foto IV);

- a.2) Limite mais difícil de visualização
Granito Três Córregos - Prêcambriano Superior a Cambria-
no (6)
 - com (9) - metassiltitos (Grupo Açungui).
- b) Foto 4536
- b.1) Limites fáceis de visualização:
- 1º) Mármore dolomíticos - Grupo Açungui (10)
 - com (9) - metassiltitos (Grupo Açungui).
- 2º) Rochas gnáissicas - Formação Setuva (13)
 - com (9) - metassiltitos (Grupo Açungui).
- b.2) Limite mais difícil de visualização:
- Granito do Cerne - Precambriano Superior a Cambria-
 no (7)
 - com (9) - metassiltitos (Grupo Açungui).

7.8 Interpretação de diques (ver Apêndices C, F, L, M e fotos II e III)

O traçado rigoroso de diques é de suma importância quando se deseja implantar uma obra no local. Sejam projeto de agricultura; construção de uma estrada; construção de um prédio, como ponto de apoio para pesquisas hidrológicas; base para implantação e desenvolvimento de minas subterrâneas.

A região apresenta alta densidade de diques, com exceção da região dos Arenitos (Formação Furnas), que tem baixa densidade de diques e estes ao mesmo tempo não se destacam, e da bacia sedimentar de Curitiba que não tem diques por ser uma formação mais recente.

O traçado de diques é um dos aspectos em que se tem grandes vantagens com o uso dos sensores. Pelos sensores obtêm-se, facilmente, uma boa precisão no traçado de diques.

7.8.1 Interpretação dos diques nos três sensores

a) *Imagens do Landsat* (ver apêndice C e foto III)

Nas imagens deste sensor (MSS), foram analisados os canais 5 e 7, nas escalas de 1:500.000 e 1.250.000.

As imagens do canal 7 deram melhores resultados, pois nesse canal não há influência de variação em tonalidade causada pela vegetação. Assim mesmo, foi utilizada a interpretação feita no canal 5, esta servindo para comparação e verificação.

Essa é uma das grandes vantagens do Landsat em relação aos outros sensores; existem quatro canais que foram imageados na mesma época e mais o recobrimento repetitivo a cada 18 dias. A soma de material existente para a pesquisa é muito maior do que o obtido com sensores de RADAR e Fotos aéreas.

b) *Mosaicos de RADAR* (Ver apêndice F e foto II)

Com o mosaico de RADAR o trabalho foi praticamente o mesmo, com exceção das restrições já mencionadas no item "a". Com o sistema de RADAR foi obtido apenas um recobrimento (ano 75/76). O sistema de RADAR funciona no intervalo de microondas (espectro eletromagnético) e, neste intervalo, existe pouca interferência da vegetação para o traçado dos diques. Na interpretação das imagens de RADAR foi utilizada

a estereoscopia, fator que muito auxiliou na detecção de diques.

c) *Fotos aéreas* (ver apêndice L e M)

As fotos apresentam um pouco mais de dificuldades para a interpretação de diques.

É preciso levar em consideração, principalmente, os alinhamentos da vegetação, alinhamentos de vales (ex.: quartzito e filitos), alinhamentos de morros (ex.: mármores dolomíticos).

Através de fotos aéreas o intérprete pode detectar até pequenos diques, os quais são invisíveis nas imagens do Landsat e de RADAR. Isto se justifica porque nas fotos o poder de resolução é maior.

d) *Comparação entre as interpretações dos três sensores*

Comparando os resultados obtidos pelas imagens dos sensores do LANDSAT e de RADAR, respectivamente, observa-se pouca diferença. (ver apêndice C e F).

Sendo as fotos em outra escala (maior), é difícil realizar uma comparação exata entre a interpretação feita a partir das fotos e a feita com imagens do Landsat e de RADAR. Para essa comparação foi usado o Sketchmaster. O resultado da comparação mostrou que nas fotos foi detectada maior quantidade de diques por área.

Analisando a diferença de escala entre as fotos aéreas e as imagens do LANDSAT e de RADAR, talvez fosse de se esperar ainda, maior número de diques na interpretação das fotos aéreas.

CAPÍTULO VIII

CONCLUSÕES

8.1 Resultados básicos e potencialidade dos diferentes sensores para o mapeamento geológico

No desenvolvimento deste trabalho, verificou-se que o conhecimento, a experiência e o tempo disponível do intérprete são de fundamental importância para a análise visual de cada sensor.

O trabalho de interpretação das imagens não pode ser feito numa etapa; é necessário que se analise o mesmo pormenor mais de uma vez. Na interpretação das imagens, é fundamental que haja uma seleção do material existente para a análise de um determinado aspecto característico.

METODOLOGIA ADOTADA NESTE TRABALHO

a) coleta de informações

Imagens do Landsat - Neste trabalho, foram usadas apenas as imagens MSS. (Ver a quantidade de material disponível na tabela do material - Capítulo VI).

Houve dificuldades na aquisição das imagens devido ao seu custo, fator que não existe na prática, pois as firmas

terão lucros futuros com o uso das imagens. A aquisição das imagens do Landsat é fácil, uma vez que o INPE é o órgão possuidor de todas as imagens do país.

Imagens de RADAR - Neste trabalho, foram usados mosaicos de RADAR tipo off-set e em papel fotográfico. As imagens de RADAR da área de interesse foram fáceis de localizar, já que o RADAM possui o recobrimento radargramétrico de todo o País (ver, no Capítulo VI, como foram adquiridos os mosaicos de RADAR).

Fotos convencionais - As fotos aéreas de uma área de interesse são mais difíceis de localizar; não existe um órgão (entidade) que possua as fotos de todo o País; tampouco existe catálogo de todas as fotos existentes. Mesmo dentro de um Estado, há várias firmas de aerolevanteamento, as quais detem os negativos das fotografias que tomaram (ver, no capítulo VI, como foram obtidas as fotos aéreas).

Mapas topográficos - O IBGE executou a maior parte do mapeamento topográfico do País. Assim mesmo, houve dificuldade na obtenção desses mapas, uma vez que a área de testes está, em sua maior parte, na região metropolitana de Curitiba, região mapeada pela COMEC (ver maiores minúcias para obtenção destes mapas no Capítulo VI).

Mapas geológicos - Apenas o DNPM publicou os mapas na escala 1:1.000.000 de todo o país. Na área de testes tem-se mapas geológicos na escala de 1:100.000 e 1:50.000.

Os mapas geológicos de nosso interesse foram localizados, facilmente, com a ajuda do Prof. Schöll, o qual conhecia os órgãos possuidores desses mapas (ver Capítulo VI).

- b) Problemas das diferenças de escala entre um sensor e outro.

As comparações entre as diferentes escalas foram feitas utilizando o Sketchmaster ou o pantógrafo (ver Capítulo VII).

Nas firmas que executam esses trabalhos, geralmente, existem aparelhos que fazem reduções ou ampliações com mais precisão.

- c) Potencialidades dos sensores

c.1) *Landsat*

O valor de uma imagem Landsat, para interpretação, varia muito de uma passagem (recobrimento) para outra. Um pormenor pode aparecer bem nítido num recobrimento, no seguinte, já apresentar problema para sua interpretação. Essas diferenças na qualidade das imagens dependem:

- da presença de nuvens;
- da estação do ano;
- do processamento da imagem.

Potencialidades das imagens do Landsat

(Ver apêndices A, B e C)

A maioria dos limites litológicos aparecem bem nítidos;

O traçado dos diques foi bem nítido (principalmente no canal 7);

O traçado da rede de drenagem apresentou maior dificuldade para a interpretação.

c.2) RADAR

Para a interpretação das imagens de RADAR, pode-se obter os mosaicos em papel off-set ou em papel fotográfico. Dos dois materiais, o mais conhecido é o off-set. No entanto, os mosaicos em papel fotográfico têm maior valor, pois apresentam maior nitidez para a interpretação.

Potencialidades das imagens de RADAR

(ver Apêndices D, E e F)

A rede de drenagem é bastante nítida;

A maioria dos limites litológicos aparece claramente;

O traçado dos diques é um pouco mais difícil do que nas imagens do Landsat.

c.3) Fotos convencionais

Para análise de fotos aéreas, o ideal seria tê-las de várias épocas do ano ou, ainda, de vários anos.

Potencialidades das fotos aéreas

(Ver apêndices G, H, I, J, L e M)

As fotos apresentam maior facilidade para o traçado da rede de drenagem, possibilitando a interpretação de pequenos cursos d'água.

O traçado dos limites litológicos e dos diques (em geral) requer mais habilidade do intérprete do que nos produtos dos outros dois sensores.

É possível obter maior precisão e minudência na interpretação, devido à escala.

d) Vantagens dos sensores usados para o mapeamento

Landsat (MSS) - Este sensor tem imagens no espectro visível e no infravermelho próximo. As imagens do infravermelho próximo sofrem menos influência com diferentes tipos de vegetação; têm portanto, vantagens para pesquisas geológicas. As imagens obtidas na parte do espectro visível dão outra idéia do mesmo local, servindo assim, para comparação com as interpretações feitas nas imagens do infravermelho próximo.

As imagens do Landsat podem ser usadas com maior facilidade em processos digitais, uma vez que os dados originais já estão registrados em fitas.

RADAR - As imagens de RADAR caracterizam bem os aspectos geomorfológicos.

Com as imagens de RADAR é possível usar uma esteoscopia limitada, possibilitando, assim, analisar melhor a rede de drenagem e as características da superfície.

A vegetação causa pouca interferência na interpretação das imagens.

Fotos convencionais - As fotos convencionais podem ser usadas para análise de pormenores.

As fotos aéreas são mais usadas em pesquisas de fotogrametria. (aspectos geométricos).

Geralmente, é possível obter fotos aéreas de várias épocas.

As fotos apresentam diversas escalas enquanto as dos outros sensores são tomadas numa única escala.

Neste trabalho, constatou-se que o ideal é sempre usar mais de um sensor para a realização de uma pesquisa de sensoriamento remoto.

Nos trabalhos de interpretação, é conveniente fazer a análise de cada sensor, em particular, totalmente independente, e, no final, comparar os resultados de cada interpretação. Nessa comparação, é claro que aparecem diferenças. Estas serão motivo para uma nova análise, mais pormenorizada, do local, servindo, portanto, como um controle das interpretações. A confiabilidade do trabalho é diretamente proporcional à equivalência dos resultados obtidos a partir de cada sensor. Quanto mais preciso for o trabalho de interpretação, mais simples será o trabalho de campo. Assim mesmo, sempre é necessário fazer uma verificação rigorosa do campo.

Analisando o desenvolvimento do país, em poucos anos haverá mapeamento minucioso de grande parte do território nacional; então, as fotos aéreas terão maior aplicação em trabalhos de interpretação visual.

O desenvolvimento mostra que para o futuro será mais usado o processo de análise digital das imagens. A geologia e o sensoriamento remoto terão que andar juntos para que haja uma evolução mais rápida nesta área de pesquisa.

Os processos digitais terão grande aplicação para uma simples manipulação dos contrastes, sendo difícil a caracterização de diferentes tipos de rochas por meio de classificação multi-espectral. A geologia sempre precisa de mais apoio de um operador do que as outras aplicações do sensoriamento remoto. A necessidade de colaboração multidisciplinar aumenta quando se pretende uma análise mais pormenorizada na pesquisa. É difícil detectar os diferentes tipos de rochas por meio das imagens dos sensores. É possível facilmente detectar os limites litológicos.

Nas outras áreas de pesquisa de sensoriamento remoto tem-se outro parecer.

Na classificação da vegetação, pode-se identificar diferentes tipos de vegetação.

Na previsão de safras, pode-se perceber a qualidade da cultura para estimar a safra.

No cadastro de cidades, pode-se identificar diferentes tipos de construções, áreas nobres e áreas mais pobres.

NOTAS DE REFERÊNCIA

- | 1 | INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. *O programa de produção de imagens*. São José dos Campos, 1981. p.8.
- | 2 | BÄHR, Hans-Peter. *Analyse der Geometrie auf Photo-detectoren abgetasteter Aufnahmen von Erderkundungs-sateliten. Wissenschaftliche Arbeiten der Lehrstühle für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie an der Technischen Universität Hannover, Hannover, (71):* p.9
- | 3 | INPE. *Curso de treinamento: aplicações de sensoria-mento remoto, com ênfase em imagens Landsat, no le-vantamento de recursos naturais*. p.I.6.
- | 4 | TARANIK, James V. *Characteristics of the Landsat multispectral data system*. Sioux Falls, 1978. p.20.
- | 5 | INPE. *Curso treinamento*: p.I.7.
- | 6 | LINTZ Jr, Joseph & SIMONETE, David S. *Remote Sensing of Environment*. Reading, Ma, Addison-Wesley, 1976. p.329-31.
- | 7 | INPE. *Curso de treinamento*: p.I.12.
- | 8 | PINHEIRO, Evaldo Santos et alii. *Manual de usuários do ERTS (Landsat)*. São José dos Campos, INPE, 1975. p.II.10-1.
- | 9 | Ibid, p.II.7.
- | 10 | TARANIK, James V. p.20.
- | 11 | SILVA, W.C.C. Da; FERREIRA, L; D.D.; MAIA, J.C. *Estu-do do imageamento e distorções geométricas das ima-gens Landsat*. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, (23) 1979. p.44.
- | 12 | INPE. *Curso de treinamento*: p.I.8-11.
- | 13 | BÄHR, Hans-Peter. p.40.
- | 14 | Ibid, p.81.

- [15] IOWA REMOTE SENSING. *Proceedings in applied remote sensing, may 8-12, 1972*, Iowa City Geological Survey, 1972. p.106.
- [16] Ibid, p.113.
- [17] MEXEL, J.F.M. *The geological interpretation of radar images*. Enschede, ITC, 1972. p.8.
- [18] IOWA REMOTE SENSING. p.108.
- [19] COSTA, Regina Coeli Ribeiro da. *A imagem e o projeto RADAMBRASIL*. Florianópolis, s.ed. 1979. p.26.
- [20] ALBERTZ, Jorg & KREILING, Walter. *Photogrammetrisches Taschenbuch*. Karlsruhe, Hubert Wichman Verlag, 1980. p.246.
- [21] REEVES, Robert G. et alii. *Manual de remote sensing*. Falls Church, American Society of Photogrammetry, 1975. p.444.
- [22] ABREU, Luiz E.F. *Precisão e alcance da radargrametria*. *Revista Brasileira de Cartografia*. Rio de Janeiro, (24) 1979. p.30.
- [23] REEVES, Robert G. et alii. p.446.
- [24] Ibid, p.446.
- [25] LINTZ Jr, Joseph & SIMONETI, David S. p.27.
- [26] LEBERL, F.W. *Radargrametry for imagesinterpretation*. Enschede, International Institute for Aereal Survey and Earth Sciences (ITC), 1978. p.118.
- [27] AVERY, T. Eugene. *Interpretation of aereal photographs*. Mineapolis, Burgess, 1968. p.68.
- [28] WOLF, Paul R. *Elements of photogrammetry*. New York, Mc Graw-Hill, 1974. p.299.
- [29] LOPEZ VERGARA, M.L. *Manual de fotogeologia*. Madrid, Blume, 1971. p.59.
- [30] Ibid, p.59.
- [31] AVERY, T. Eugene. p.53.
- [32] MONTEIRO, Marcílio Franco. *Avaliação de métodos de prospecção pela análise aerofotogramétrica*. Salvador, Universidade Federal da Bahia, 1973. p.9.
- [33] LOW, Julian W. *Geologia de Campo*. México, Continental, 1960. p.26.
- [34] COMPTON, Robert. *Geologia de Campo*. México, Editorial, 1970, p.5.

- |35| LOW, Julian W. p.26.
- |36| COMPTON, Robert. p.286.
- |37| LEINZ, Victor. *Geologia Geral*. São Paulo, Nacional, 1975. p.36.
- |38| Ibid, p.41.
- |39| Ibid, p.44.
- |40| LOCZY, Louis de & LADEIRA, Eduardo A. *Geologia Estrutural e introdução à geotectônica*. São Paulo, Edgard Blucher, 1976. p.44.
- |41| ALLUM, J.A.E. *Photogeology and regional mapping*. Oxford, Overseas Geological Surveys Photogeological Division, 1966. p.31.
- |42| LOCZY, Louis de & LADEIRA, Eduardo A. p.81.
- |43| Ibid, p.76.
- |44| Ibid, p.157.
- |45| LOPEZ VERGARA, M.L. p.58.
- |46| Ibid, p.58.
- |47| RAY, Richard G. *Fotografias aéreas na interpretação e Mapeamento geológico*. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, 1963. p.54.
- |48| MAAK, Reinhard. *Geografia física do Estado do Paraná*. Curitiba, UFPR, 1965. p.88.
- |49| RADAM *Informações básicas 2*. Ministério de Minas e Energias, DNPM, 1981. p.41.
- |50| LIU, Chan C. et alii. *Alguns aspectos das informações geológicas contidas em imagens Landsat*. São José dos Campos, 1980, (INPE - 1822 - RPE/188).
- |51| CARVALHO, Victor C. *Apresentação de uma sistemática para a análise de dados multiespectrais*. São José dos Campos, 1978 (INPE - 1227 - NTE/115).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 ABREU, Luiz E.F. Precisão e alcance da radargrametria. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, (12):30-4, 1979.
- 2 ALBERTZ, Jorg & KREILING, Walter. *Photogrammetrisches Taschenbuch*. Karlsruhe, Hubert Wichman Verlag, 1980. 280 p.
- 3 ALLEVATO, S.R. & PINGARILHO, M. de N.F. Análise e tratamento de material fotogramétrico no projeto RADAM-BRASIL. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, (24):19-24, 1979.
- 4 ALLUM, J.A.E. *Photogeology and regional mapping*. Oxford, Overseas Geological Surveys Photogeological Division, 1966. 107 p.
- 5 AMARAL, Gilberto. *Brasilian program for geological using earth satellites resources satellites data*. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1971, 12 p.
- 6 AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY. *Manual of photogrammetry*. Falls Church. Va, 1966, v.1.
- 7 AVERY, T. Eugene. *Interpretation of aerial photographs*. Minneapolis, Burgess, 1968. 324 p.
- 8 AZEVEDO, Henrique A. *Geological studies using data from NASA, mission 96*. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais, 1971. 8 p.
- 9 BÄHR, Hans-Peter, Wechselwirkung von Photogrammetrie und Fernerkundung durch Anwendung digitaler Bildverarbeitung. *Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover*. Hannover, (97):91-110, 1979.
- 10 BÄHR, Hans-Peter. Analyse der Geometrie auf Photo-detektoren abgetasteter Aufnahmen von Erderkundungs-sateliten. *Wissenschaftliche Arbeiten der Lehrstühle für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie an der Technischen Universität Hannover*, Hannover, 1976. (71). 140 p.

- 11 BATSON, R.M. & EDWARDS, Kathleen. Synthetic stereo and Landsat pictures. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Virginia, 47(10):1274-83, October, 1976.
- 12 BISHOP, Margaret S. *Subsurface mapping*. New York, John Wiley, 1960. 198 p.
- 13 BONNELL, Claude. Photomapping and its application to, legal surveyors. *The Canadian Surveyor*, Ottawa, 32(4):331-47, December, 1977.
- 14 COMPTON, Robert. *Geologia de campo*. México Editorial, 1970. 478 p.
- 15 COSTA, Regina Coeli Ribeiro da. *A imagem da radar e projeto RADAMBRASIL*. Florianópolis, s.ed., 1980, 36 p.
- 16 DOWIDEIT, Gerd. Blockausgleichung für Abbildungen des seitwärtsschauenden Radar (SLAR). *Wissenschaftliche Arbeiten der Lehrstühle für Geodäsie, Photogrammetrie und Kartographie and der Technischen Universität Hannover*. Hannover, (75):5-25, 1977.
- 17 DUARTE, Gerusa Maria. *Projeto RADAMBRASIL e o sensoriamento remoto*. Florianópolis, s.ed., 1979, 21 p.
- 18 DUNBAR, Carl O. & RODGERS, John. *Principles of Stratigraphy*. New York, John Wiley, 1958. 356 p.
- 19 DUNLAP, Orrin E. *El Radar*. Panuco, Fondo de Cultura Económica, 1946. 46 p.
- 20 ESTES, John E. *Remote sensing: techniques for environment analysis*. Santa Bárbara, Hamilton, 1974. 340 p.
- 21 FOBÉ, Luc Antoine. *The brasilian program on the application of remote sensing to soil resources by aircraft system*. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Especiais, 1971. 10 p.
- 22 GODOY, Rogério C. SLAR mosaics for project RADAM. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Virginia, 40(5):503-95, May, 1974.
- 23 HARRINGTON, H.J. et alii. *Regional geology of Victoria in relation to satellite imagery a preparatory study*. s.l., Mines Department Geological Survey of Victoria, 1974, 37 p.
- 24 HEBLING, Robert. *Studies in photogeology*. Zurich, Art. Institut Oeell Fussli A. -G. 1949. 137 p.
- 25 HUBERT, Lestev F. & LEHR, Paul E. *Weather satellites*. Waltham, Mass., Blaisdell, 1967. 120 p.

- 26 INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Curso de treinamento: aplicações de sensoriamento remoto, com ênfase em imagens Landsat, no levantamento de recursos naturais*, São José dos Campos, 1980. 358 p.
- 27 INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Curso de treinamento: introdução às técnicas de sensoriamento remoto e aplicações*, São José dos Campos, 1980. 318 p.
- 28 IOWA REMOTE SENSING. *Proceedings in applied remote sensing, may 8-12, 1972*, Iowa City, Iowa Geological Survey, 1972. 181 p.
- 29 IRANPANAH, Assad & ESFANDIARI, B. Interpretation of structural lineaments using Landsat-1 images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Virginia 46(2):225-9, February 1980.
- 30 KANEKO, Toyohira. Evaluation of Landsat image registration accuracy. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. Virginia, 42(10):1285-99, October 1976.
- 31 LAHEE, Frederic H. *Geologia prática*. Barcelona, Omega, 1958, 874 p.
- 32 LEBERL, Franz W. Radar mapping using single images. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, (20):16-26, 1978.
- 33 LEBERL, Franz W. *Radargrammetry for images interpretation*. Enschede, International Institute for Aerial Survey and Earth sciences (ITC), 1978. 227 p.
- 34 LEINZ, Victor. *Geologia geral*. São Paulo, Nacional, 1975, 360 p.
- 35 LINTZ Jr, Joseph & SIMONETTI, David S. *Remote Sensing of Environment*. Reading, Ma, Addison-Wesley, 1976. 694 p.
- 36 LIU, C.C. et alii. *Interpretação geológica de imagens da Região do alto São Francisco e da Represa de Furnas, obtida pelo sensor MSS do ERTS-1*. São José dos Campos, INPE, 1973. 44 p.
- 37 LOCZY, Louis de & LADEIRA, Eduardo A. *Geologia estrutural e introdução à geotectônica*. São Paulo, Edgard Blucher, 1976. 558 p.
- 38 LOPEZ VERGARA, M.L. *Manual de fotogeologia*. Madrid, Blume, 1971. 286 p.

- 39 LOW, Julian W. *Geologia de campo*. México, Continental, 1960. 479 p.
- 40 LUGNANI, João Bosco. *Introdução a fotogrametria*. UFPR, DAST, 1977. 75 p.
- 41 MAAK, Reinhard. *Geografia física do Estado do Paraná*. Curitiba. UFPR 1965. 350 p.
- 42 MARCHETTI, Delmar A.B. & Garcia, Gilberto J. *Princípios de fotogrametria e fotointerpretação*. São Paulo, Nobel, 1977. 256 p.
- 43 MERIFIELD, P.M. et alii. *Satellite imagery of the earth. Photogrammetric Engineering*, Virginia, 35(7):654-69. July 1969.
- 44 MEXEL, J.F.M. *The geological interpretation of radar images*. Enschede, ITC, 1972. 63 p.
- 45 MILLER, Victor C. *Photogeology*. New York, Mc Graw-Hill, 1961. 248 p.
- 46 MOFFIT, Francis H. *Photogrammetry*. 2ª ed. Scator International Textbook, 1967. 540 p.
- 47 MONTEIRO, Marcílio Franco. *Avaliação de métodos de prospecção pela análise aerofotogramétrica*. Salvador, Universidade Federal de Bahia, 1973. 45 p.
- 48 NOVO, E.M.L.M. *Projeto UTUAP Análise comparativa entre fotografias aéreas convencionais e imagens Landsat para fins de levantamento do uso da terra*. São José dos Campos, INPE, 1979. 64 p.
- 49 RADAM. *Informações básicas*. Ministério de Minas e Energia, DNPM, 1981. 52 p.
- 50 RAY, Richard G. *Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológico*. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, 1963. 88 p.
- 51 REEVES, Robert G. et alii. *Manual of remote sensing*. Falls Church, American Society of Photogrammetry, 1975. 2v.
- 52 RICCI, Mauro & PETRI, Setembrino. *Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica*. São Paulo, Nacional, 1965. 326 p.
- 53 SCHWIDEFSKY, K. *Fotogrametria terrestre y aérea*. Barcelona, Editorial Labor, 1960. 332 p.
- 54 SILVA, W.C.C. da; FERREIRA, L.D.D.; MAIA, J.C. *Estudo do imageamento e distorções geométricas das imagens Landsat*. *Revista Brasileira de Cartografia*, Rio de Janeiro, (23):41-60, 1979.

- 55 STRANDBERG, Carl H. *Manual de fotografia aèrea*.
Barcelona, Omega, 1975. 268 p.
- 56 TARANIK, James V. Characteristics of Landsat multis-
pectral data system. Sioux Falls. 1978. 76 p.
- 57 WELBY, Charles W. Landsat-1 imagery. *Photogrammetric
Engineering and Remote Sensing*, Virginia, 42(11):
1411-23. November 1976.
- 58 WOLF, Paul R. *Elements of Photogrammetry*. New York,
Mc Graw-Hill, 1974. 561 p.
- 59 WONG, K.W. et alii. Analysis of RBV television Sistem.
Photogrammetric Engineering, Virginia, 39(8):851-7,
August 1973.

APÊNDICES

FOTOS ILUSTRATIVAS

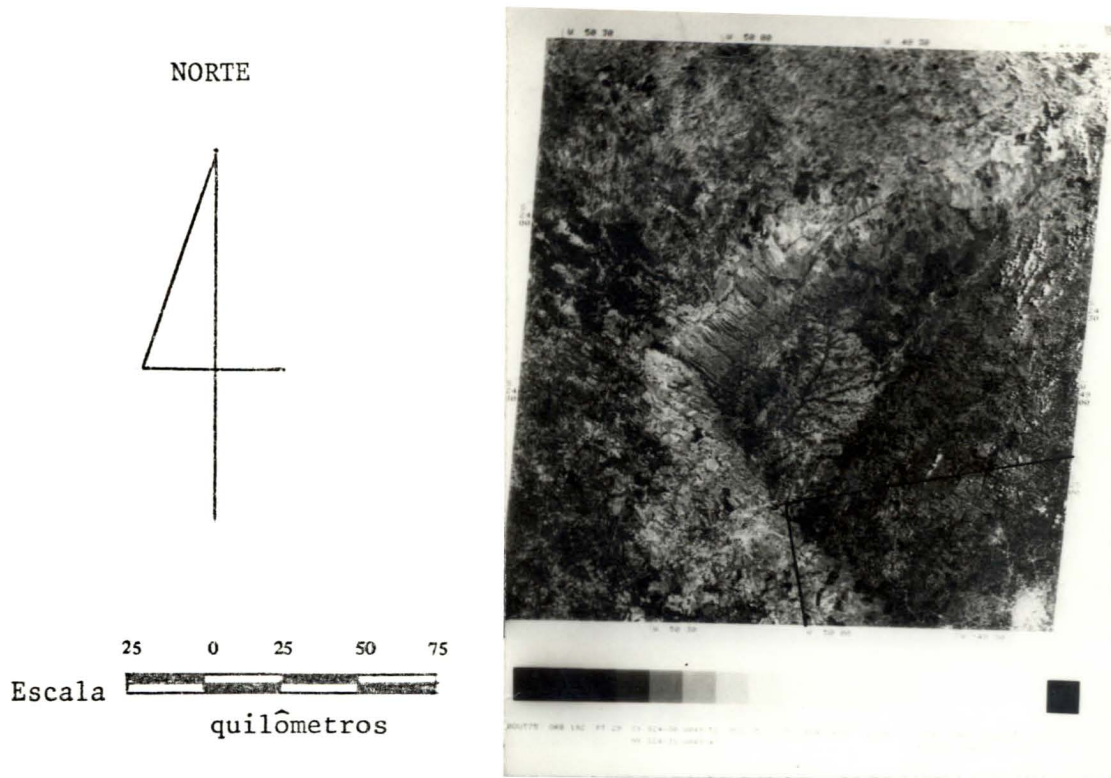


Foto I - Formato de uma imagem Landsat.

- Localização WRS - 237/77, subsistema MSS, canal 5;
- área de testes - assinalada pelos traços;
- Curitiba - no canto SE (caracterizada pela tonalidade clara).

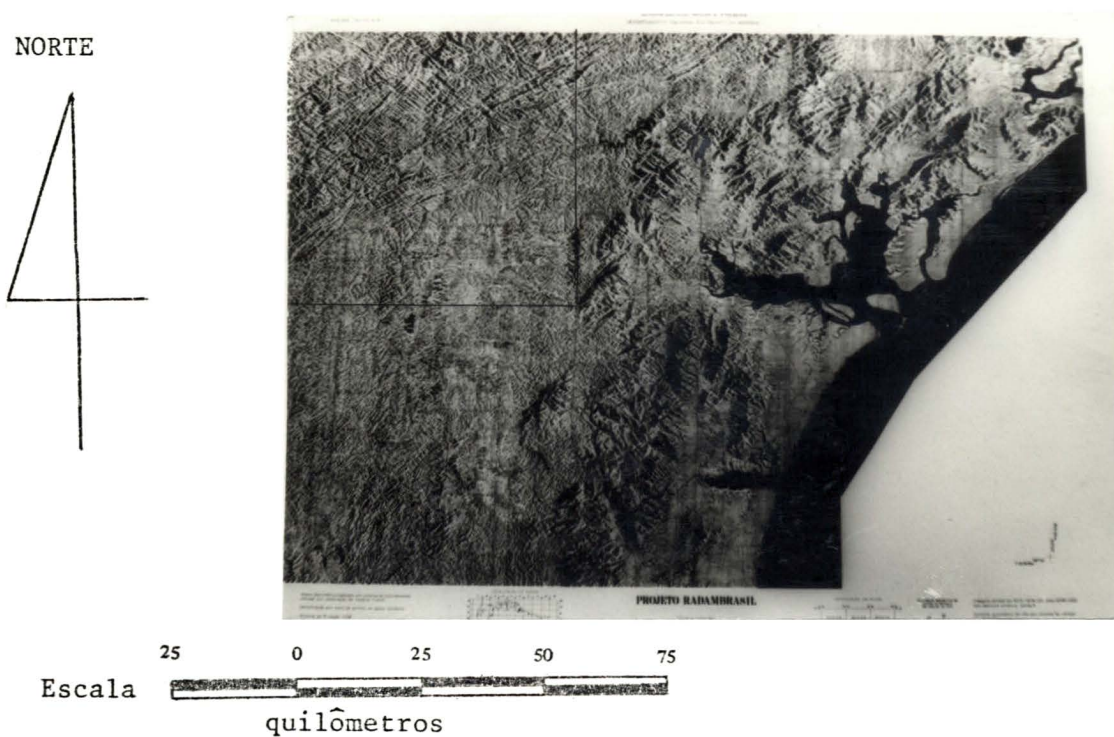


Foto II - Formato de um mosaico de Radar.

- nomenclatura SG-22-X-D;
- a metade da área analisada no trabalho está no canto noroeste.



quilômetros

Foto III - Imagem Landsat subsistema MSS, canal 7. Constata-se nesta foto:

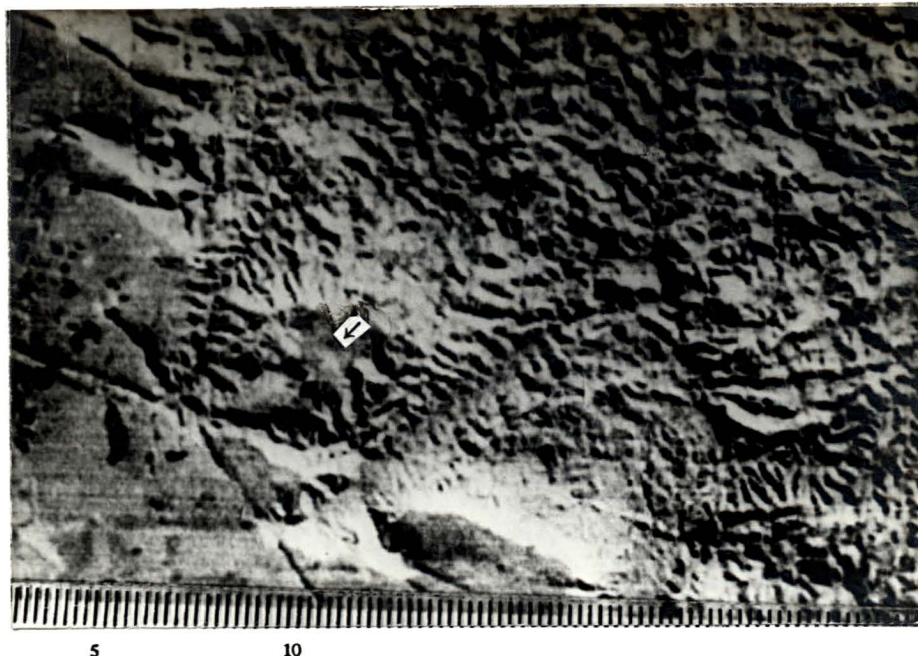
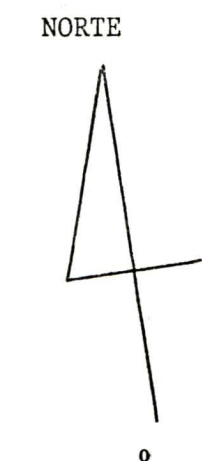
- uma visão panorâmica da área analisada;
- serra do São Luís do Purunã, caracterizada pelo alto contraste de textura - direção NW-SE;
- rocha do Grupo Açungui na região Centro-Oeste;
- diques caracterizados pelos alinhamentos na direção NW-SE.



quilômetros

Foto IV - Foto convencional. Constata-se nesta foto:

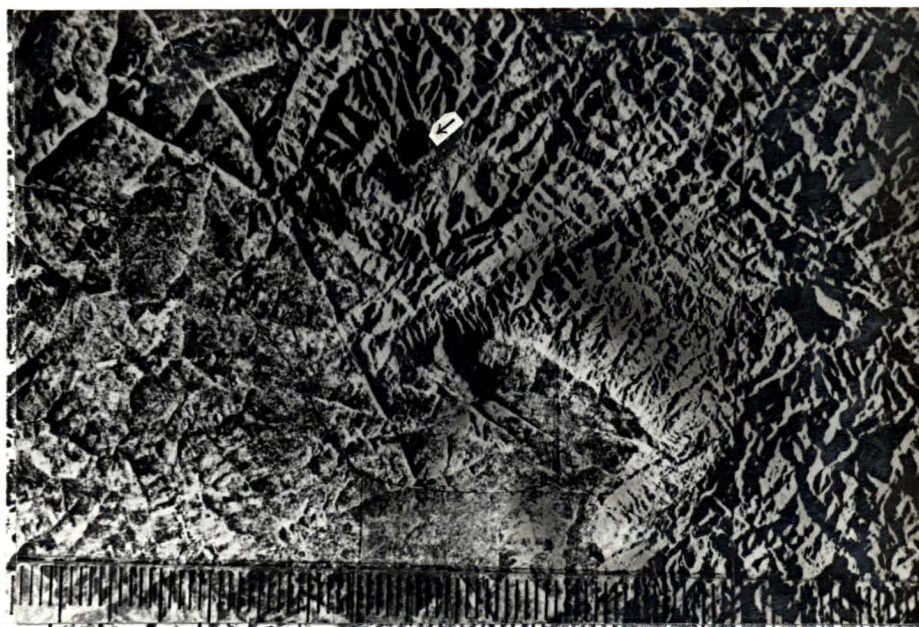
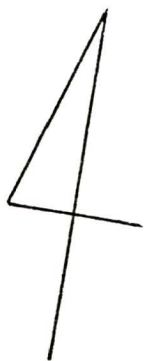
- limite do Arenito (Formação Furnas no canto SW);
- um *inselberg* na parte central, que se encontra no meio dos metassiltitos do Grupo Açungui.




Escala  quilômetros

- Foto V - Imagem de Landsat - subsistema MSS - canal 7. Constata-se nesta foto:
- serra de São Luís do Purunã, região Sudoeste da foto, caracterizada pelo contraste textural;
 - limite da Formação Camarinha - região Centro-Sul;
 - Arenito da Formação Furnas, *inselberg* aos metassiltitos do Grupo Açungui (assinalada na foto por uma seta);
 - ao norte, os metassedimentos do Grupo Açungui e os granitos intrusivos.

NORTE



Escala  quilômetros

- Foto VI - Parte de um mosaico de RADAR. Observa-se nesta foto:
- serra de São Luís do Purunã - região Sudoeste;
 - limite da Formação Camarinha - região Centro-Oeste;
 - O arenito (Formação Furnas), *inselberg* aos metassiltitos (Grupo Açungui); está assinalado por uma seta);
 - a nordeste, estão os metassedimentos do Grupo Açungui.

Obs.: Na reprodução, a imagem perdeu muitos detalhes perfeitamente nítidos no original.

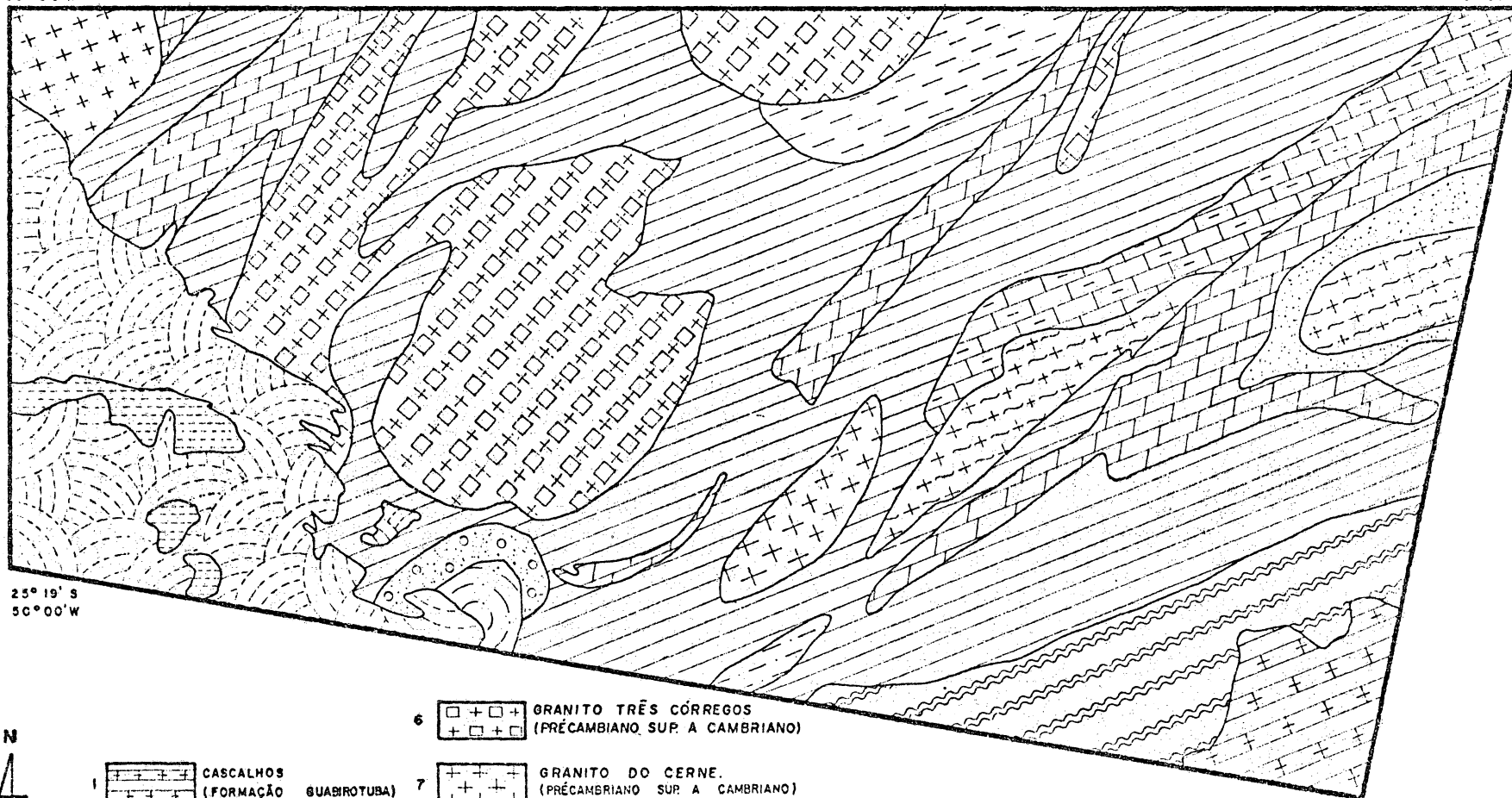
MAPAS DE INTERPRETAÇÃO
DOS TRÊS SENSORES

INTERPRETAÇÃO LITOLÓGICA PELO SENSOR LANDSAT

APÊNDICE A.

25° 00' S
50° 00' W

25° 00' S
49° 05' W



25° 19' S
50° 00' W

25° 25' S
49° 11' W



- | | | |
|--|---|--|
| <p>1 CASCALHOS
(FORMAÇÃO SUABIROTUBA)</p> <p>2 DIAMICTITOS
(SUBGRUPO ITARARÉ)</p> <p>3 ARENITOS
(FORMAÇÃO FURNAS)</p> <p>4 SILTITOS.
(FORMAÇÃO CAMARINHA)</p> <p>5 CONGLOMERADOS
(FORMAÇÃO CAMARINHA)</p> | <p>6 GRANITO TRÊS CÓRREGOS
(PRÉCAMBIANO SUP. A CAMBIANO)</p> <p>7 GRANITO DO CERNE.
(PRÉCAMBIANO SUP. A CAMBIANO)</p> <p>8 GRANITO CUNHAPORANGA
(PRÉCAMBIANO SUP. A CAMBIANO)</p> <p>9 METASSILTITOS, METARRIMITOS
FILITOS
(GRUPO AÇUNGUI)</p> <p>10 MÁRMORES DOLOMITICOS
(GRUPO AÇUNGUI)</p> <p>11 METASSED, SILT-ARGIL,
METABASITOS (GRUPO AÇUNGUI)</p> | <p>12 METASSED, SILT-ARGIL,
INCLUINDO MÁRMORES.
(GRUPO AÇUNGUI)</p> <p>13 ROCHA GNÁISSICAS.
(FORMAÇÃO SETUVA)</p> <p>14 ROCHAS XISTOSAS
(FORMAÇÃO SETUVA)</p> <p>15 MIGMATITOS EMBRECHIT.
(PRÉCAMBIANO INDIVISO)</p> |
|--|---|--|

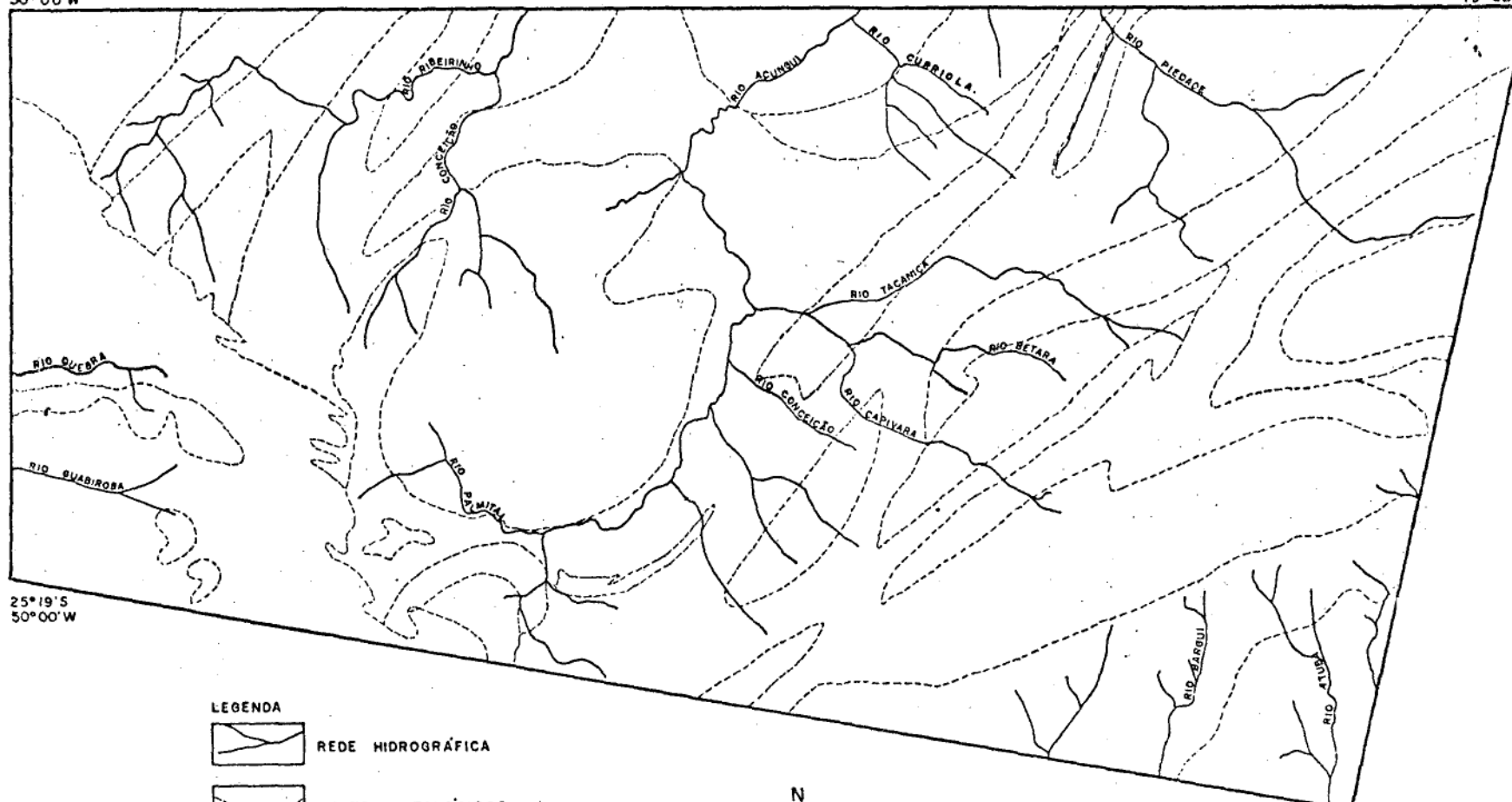
ESCALA. 0 Km 5 Km 10 Km 15 Km 20 Km

INTERPRETAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA PELO SENSOR LANDSAT

APÊNDICE B.

25° 00' S
50° 00' W

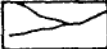
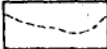
25° 00' S
49° 05' W

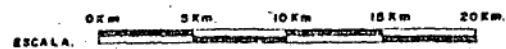


25° 19' S
50° 00' W

25° 25' S
49° 11' W

LEGENDA

-  REDE HIDROGRÁFICA
-  LIMITES LITOLÓGICOS

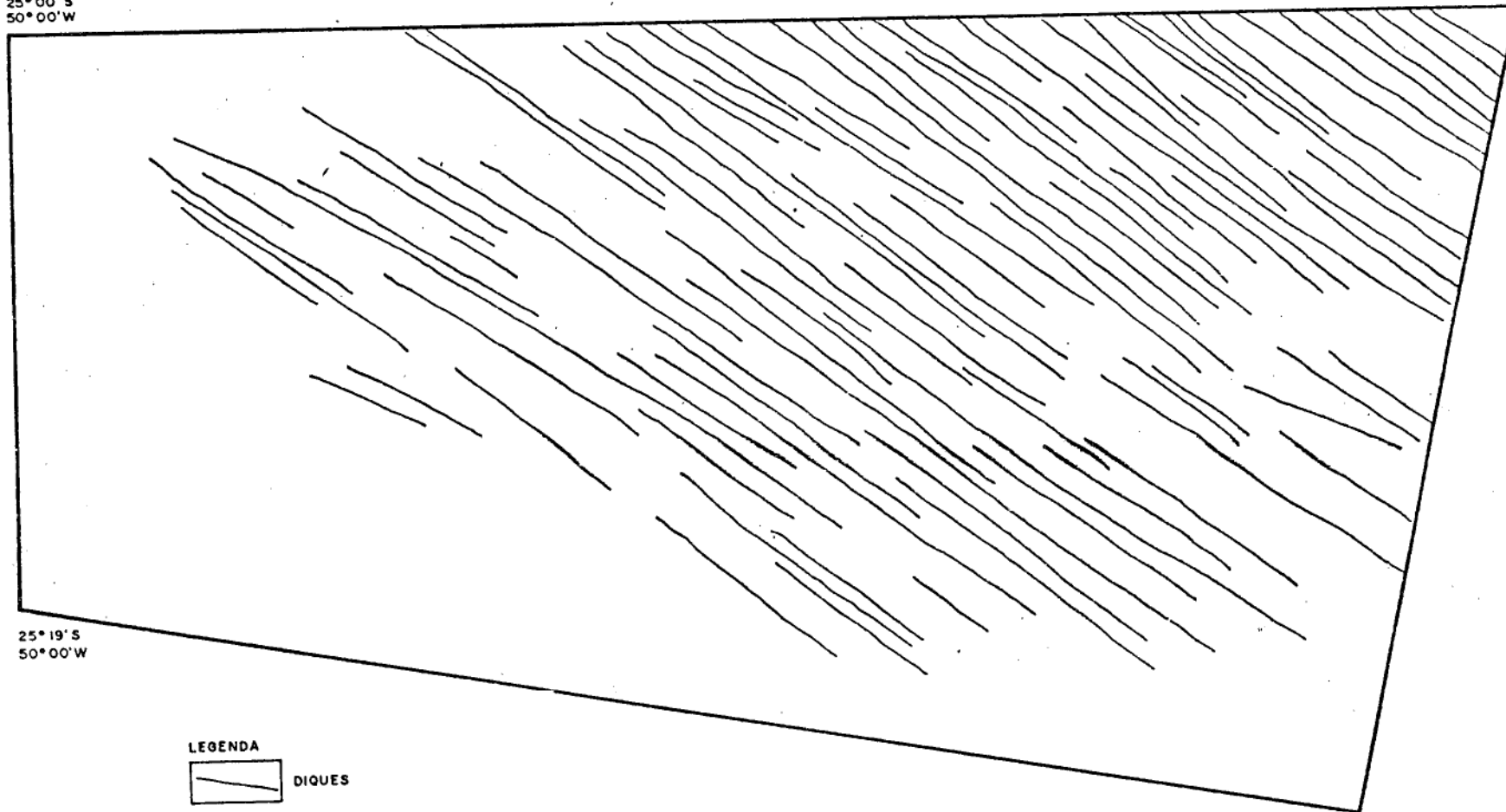


INTERPRETAÇÃO DOS DIQUES PELO SENSOR LANDSAT

APÊNDICE C.

25° 00' S
50° 00' W

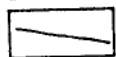
25° 00' S
49° 05' W



25° 19' S
50° 00' W

25° 25' S
49° 11' W

LEGENDA



DIQUES

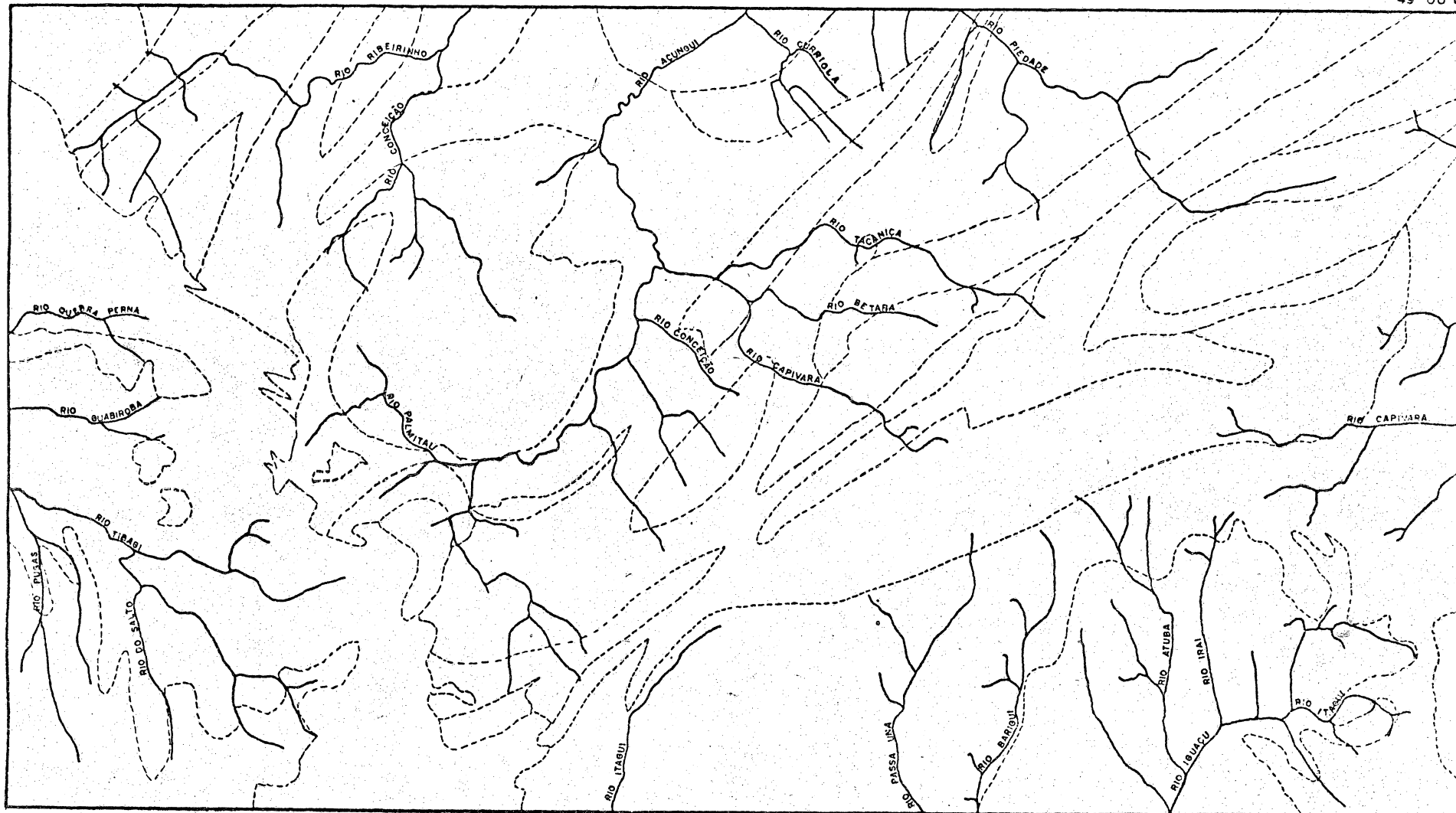


INTERPRETAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA PELO SENSOR R A D A R

APÊNDICE D.

25° 00' S
50° 00' W

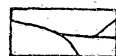
25° 00' S
49° 00' W



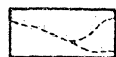
25° 30' S
50° 00' W

25° 30' S
49° 00' W

LEGENDA



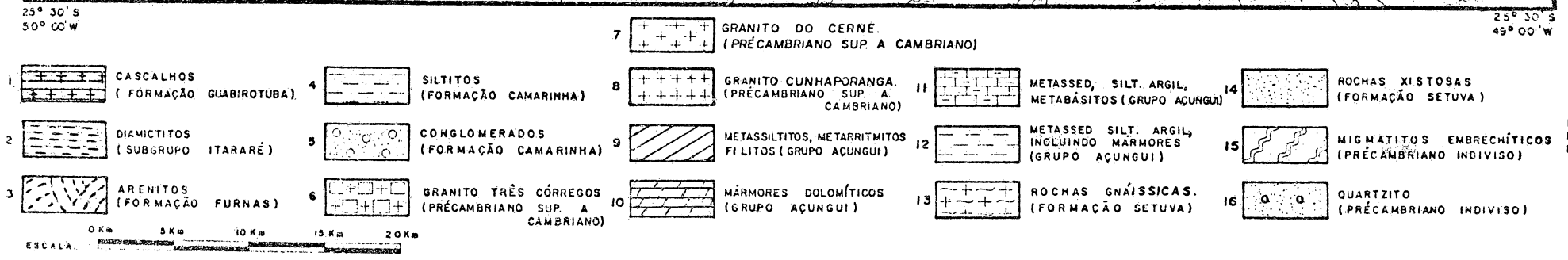
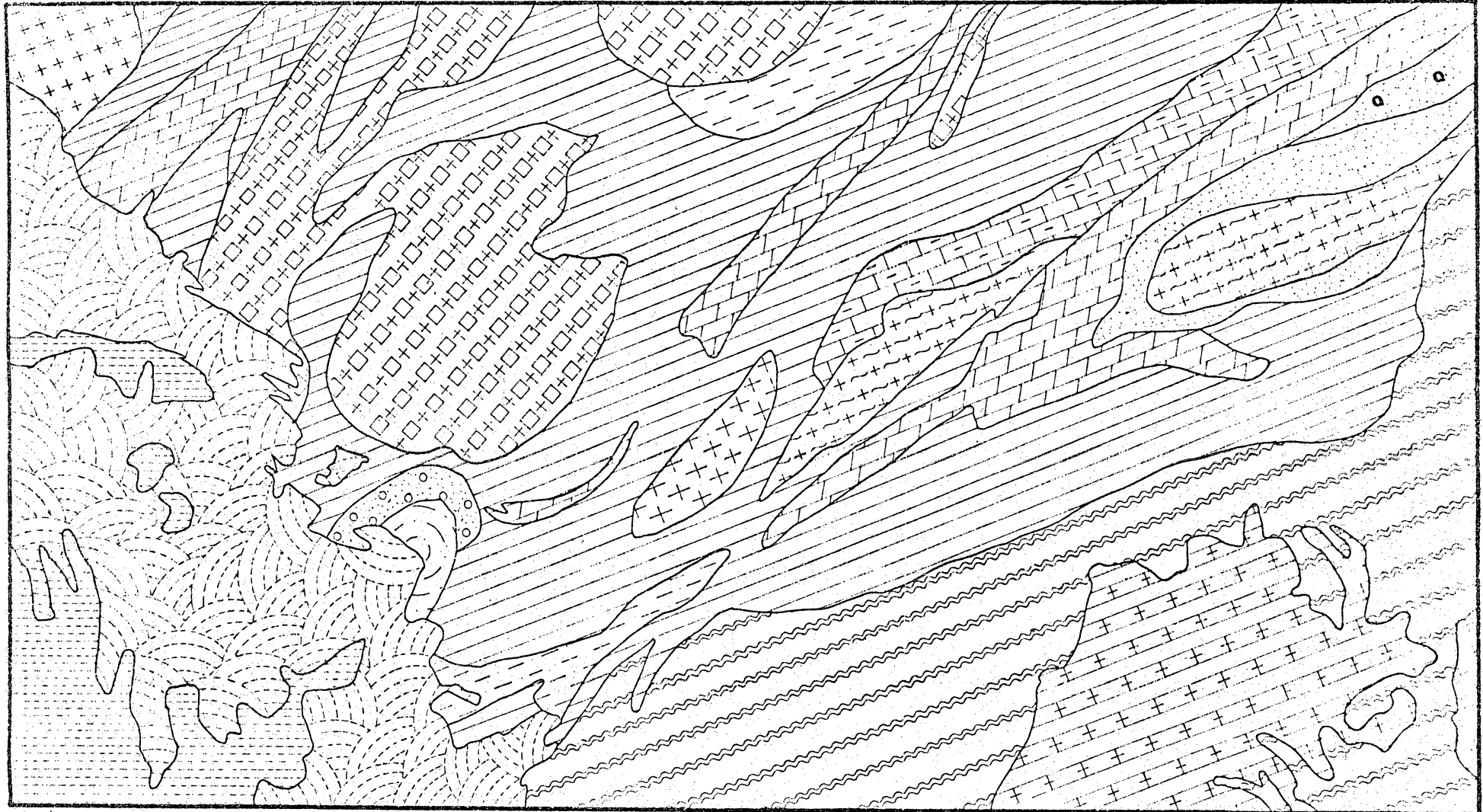
REDE HIDROGRÁFICA



LIMITES LITOLÓGICOS

ESCALA. 0Km 5Km 10Km 15Km 20Km



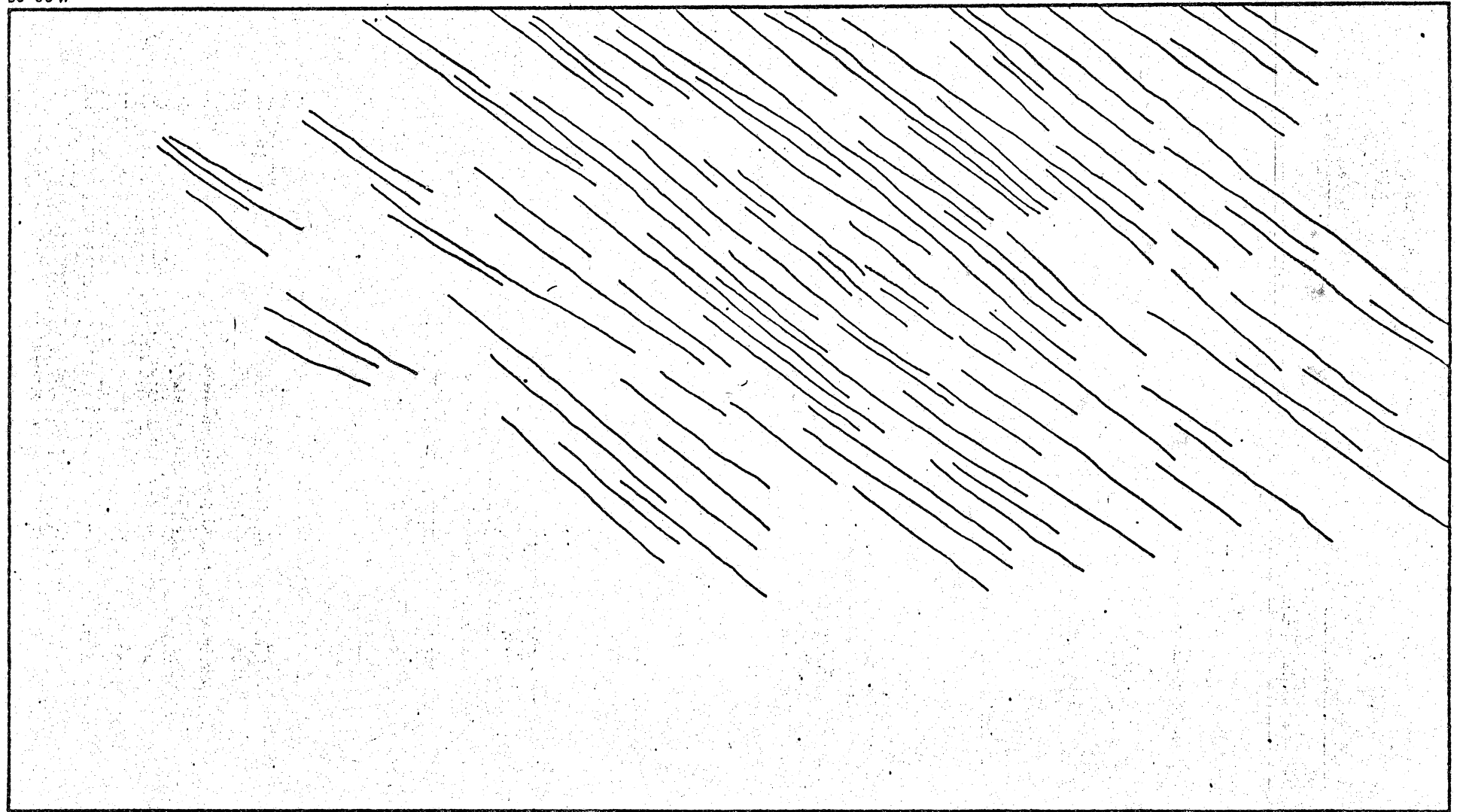


INTERPRETAÇÃO DOS DIQUES PELO SENSOR RADAR.

APÊNDICE F.

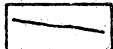
25° 00' S
50° 00' W


25° 00' S
49° 00' W



25° 30' S
50° 00' W

25° 30' S
49° 00' W

LEGENDA
 DIQUES

0 Km 5 Km 10 Km 15 Km 20 Km.
ESCALA. 

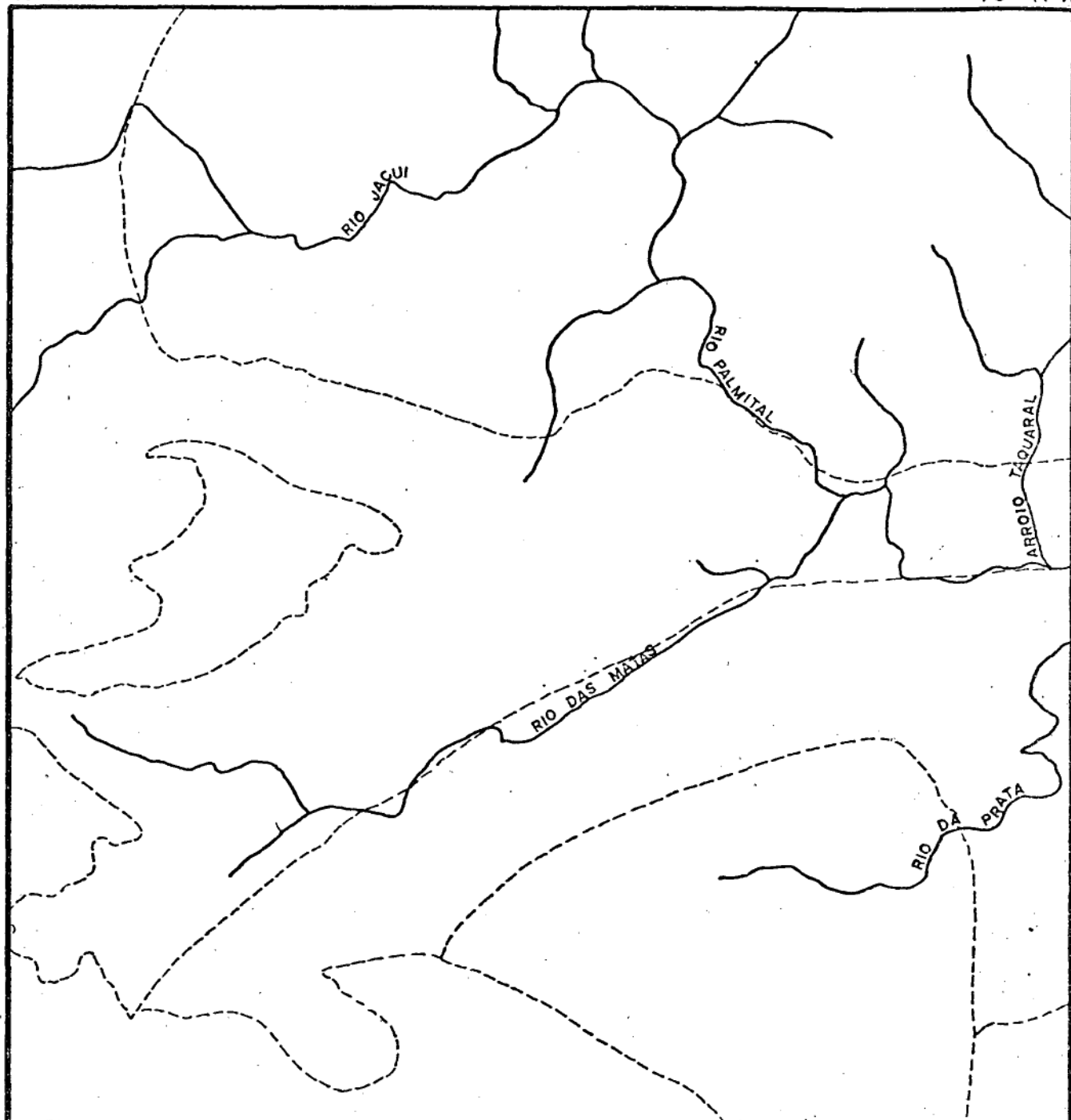


INTERPRETAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA - FOTO 4506

APÊNDICE 6

25° 14' S
49° 48' W

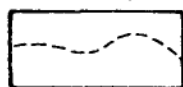
25° 14' S
49° 41' W



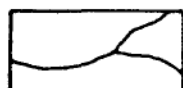
25° 21' S
49° 48' W

25° 21' S
49° 41' W

LEGENDA



LÍMITES LITOLÓGICOS



REDE HIDROGRÁFICA

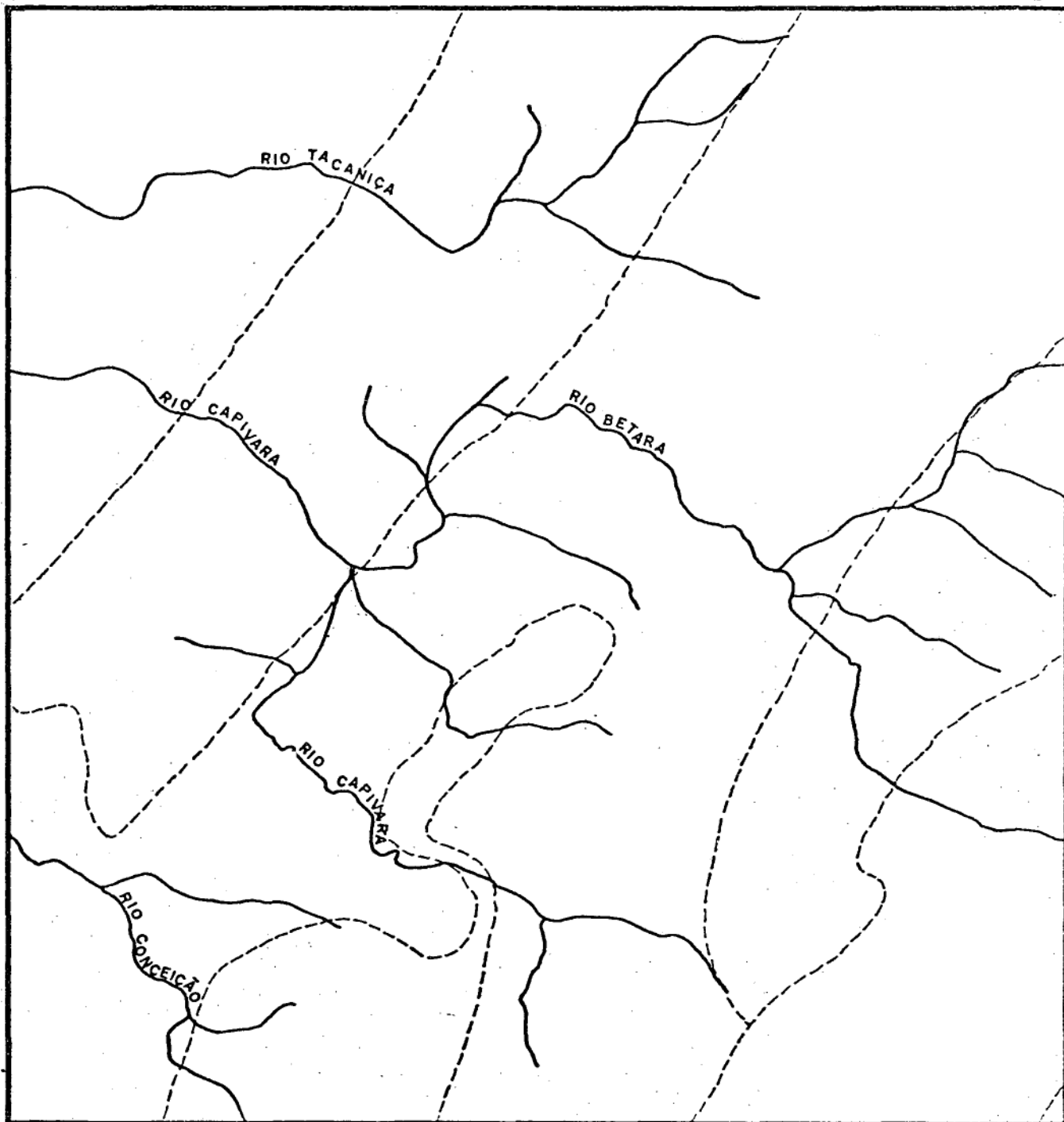


INTERPRETAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA - FOTO 4536

25°07' S
49°32' W

APÊNDICE H.

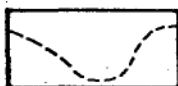
25°07' S
49°25' W



25°14' S
49°25' W

25°14' S
49°25' W

LEGENDA



LIMITES LITOLÓGICOS



REDE HIDROGRÁFICA



1Km 0Km 1Km 2Km 3Km

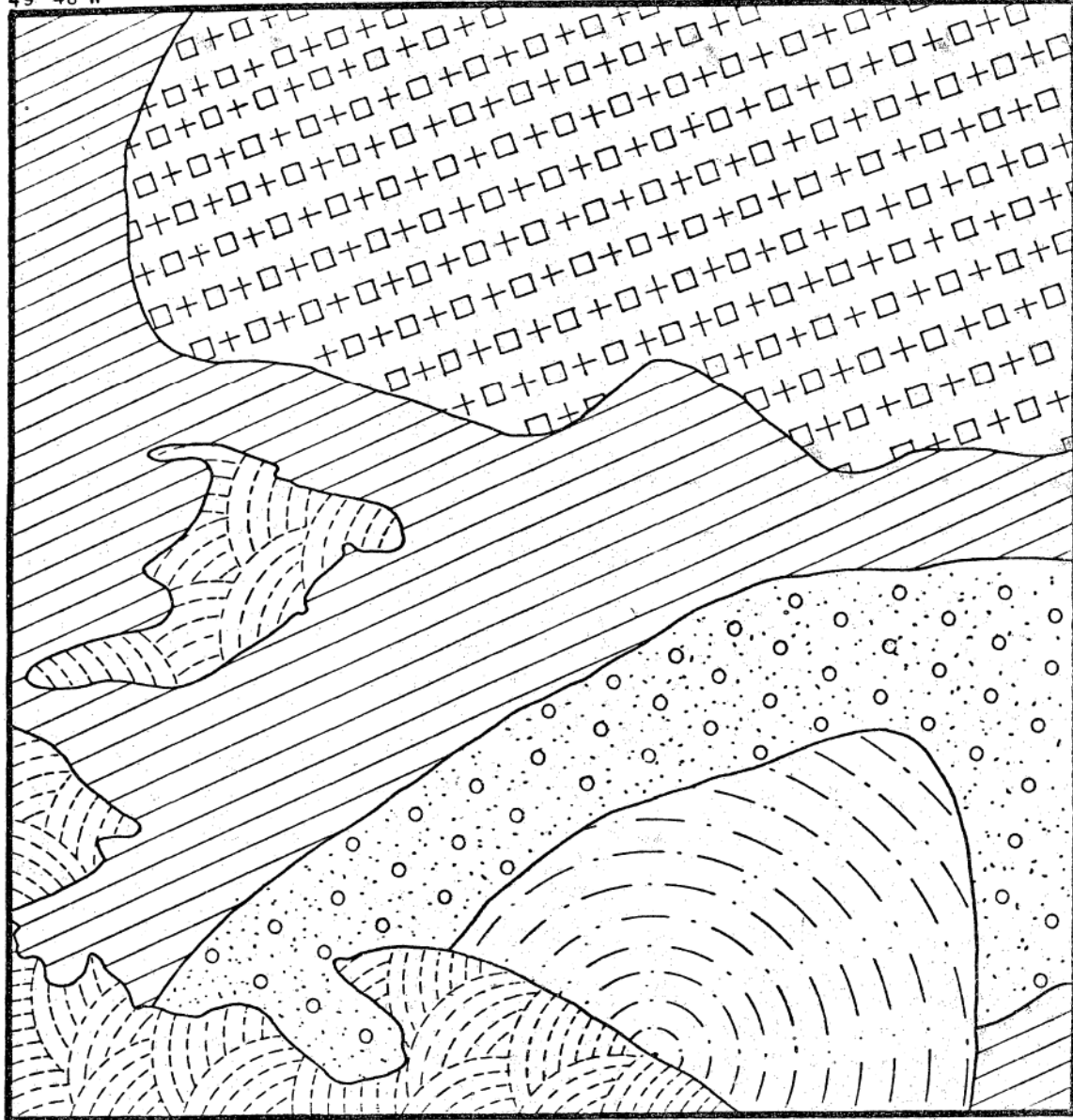
ESCALA



APÊNDICE I

25° 14' S
49° 48' W

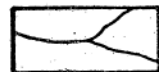
25° 14' S
49° 41' W



25° 21' S
49° 48' W

25° 21' S
49° 41' W

LEGENDA



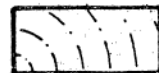
LIMITES LITOLÓGICOS

3



ARENITOS (FORMAÇÃO FURNAS)

4



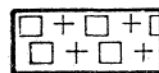
SILTITOS
(FORMAÇÃO CAMARINHA)

5



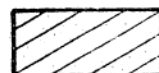
CONGLOMERADOS (FORMAÇÃO CAMARINHA)

6



GRANITO TRÊS CÓRREGOS
(PRÉ-CAMBRIANO SUPERIOR A CAMBRIANO)

9



METASSILTITOS, METARRITMITOS, FILITOS
(GRUPO AÇUNGUI)



INTERPRETAÇÃO LITOLÓGICA



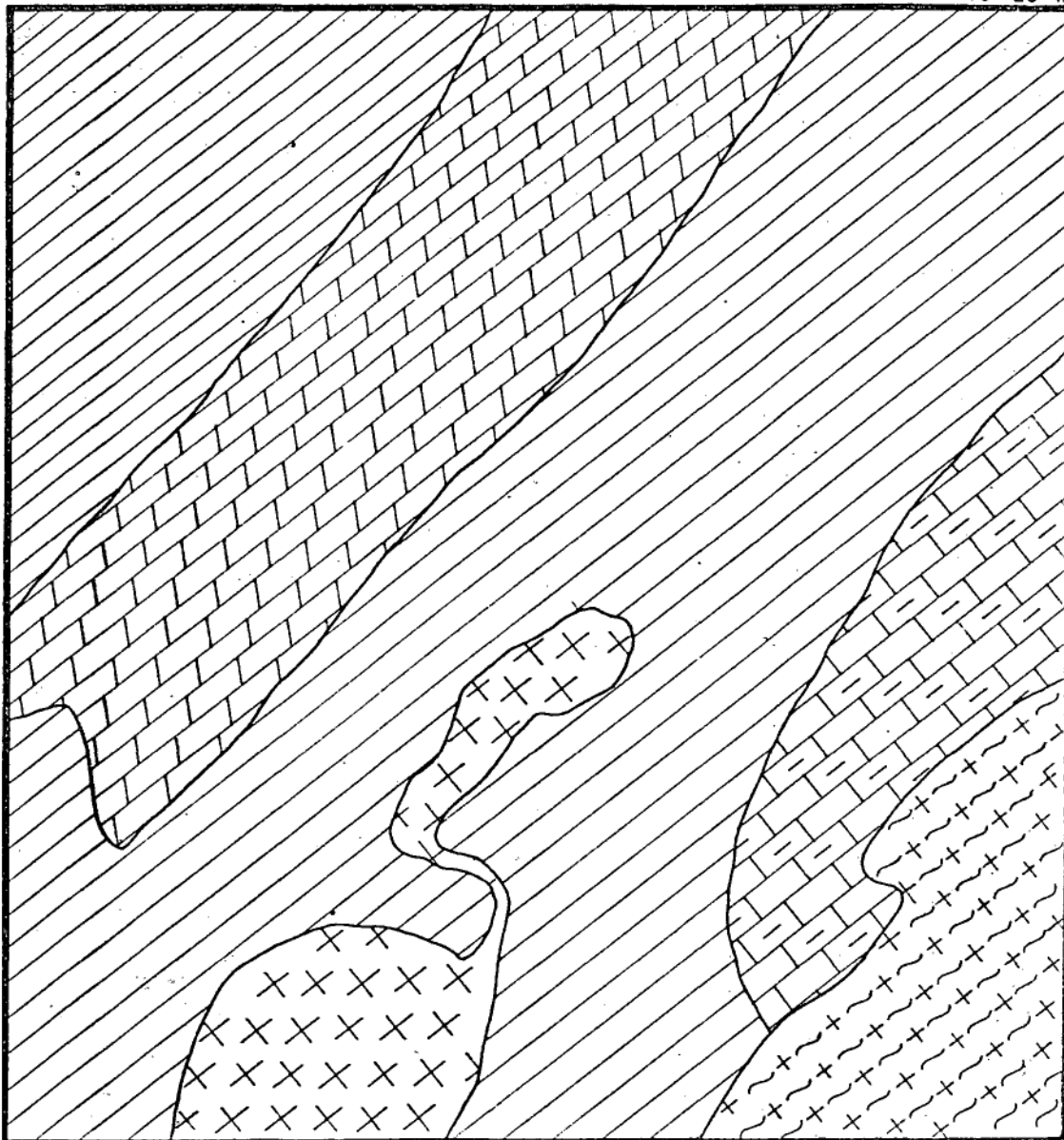
FOTO 4536

116

APÊNDICE J.

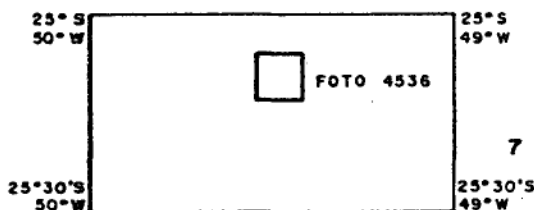
25° 07' S
49° 32' W

25° 07' S
49° 25' W

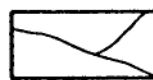


25° 14' S
49° 25' W

25° 14' S
49° 25' W



LEGENDA



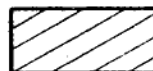
LIMITES LITOLÓGICOS

7



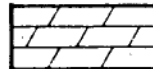
GRANITO DO CERNE
PRÉCAMBRIANO SUPERIOR CAMBRIANO

9



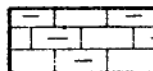
METASSILTITOS
(GRUPO AÇUNGUI)

10



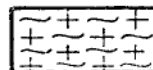
MÁRMORES DOLOMÍTICOS
(GRUPO AÇUNGUI)

11

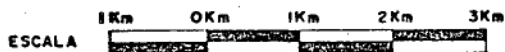


METASSED. SILT-ARGIL.
METABÁSITOS (GRUPO AÇUNGUI)

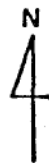
13



ROCHAS GNAÍSSICAS
(FORMAÇÃO SETUVA)



ESCALA

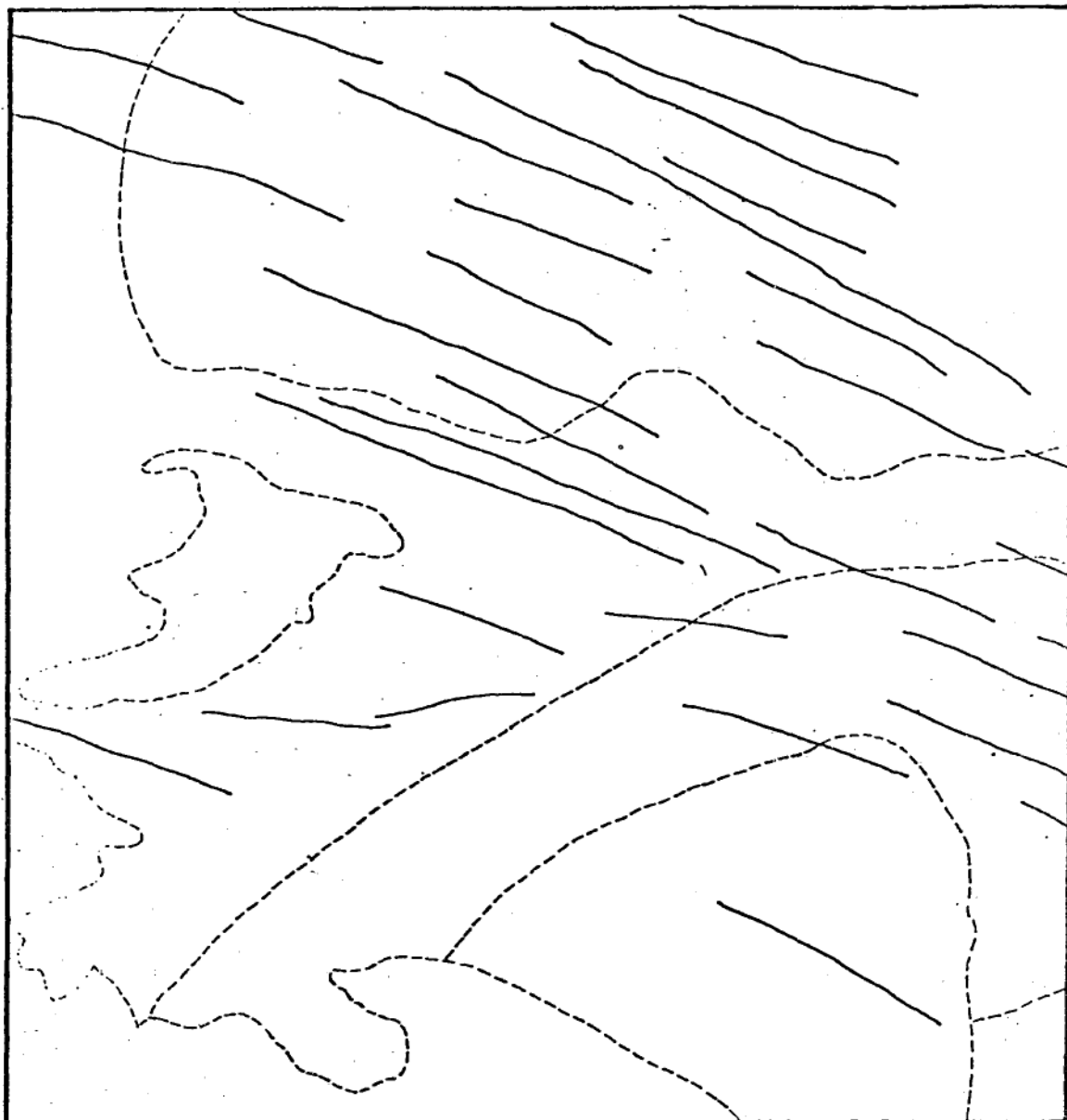


INTERPRETAÇÃO DOS DIQUES - FOTO 4506

25° 14' S
49° 48' W

APÊNDICE L

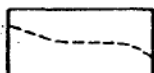
25° 14' S
49° 41' W



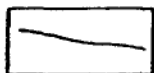
25° 21' S
49° 48' W

25° 21' S
49° 41' W

LEGENDA



LIMITES LITOLÓGICOS



DIQUES

1 Km 0 Km 1 Km 2 Km 3 Km

ESCALA.



25° 00' S
50° 00' W

25° 00' S
49° 00' W



FOTO 4506

25° 30' S
50° 30' W

25° 30' S
49° 00' W

INTERPRETAÇÃO DOS DIQUES

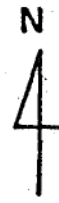
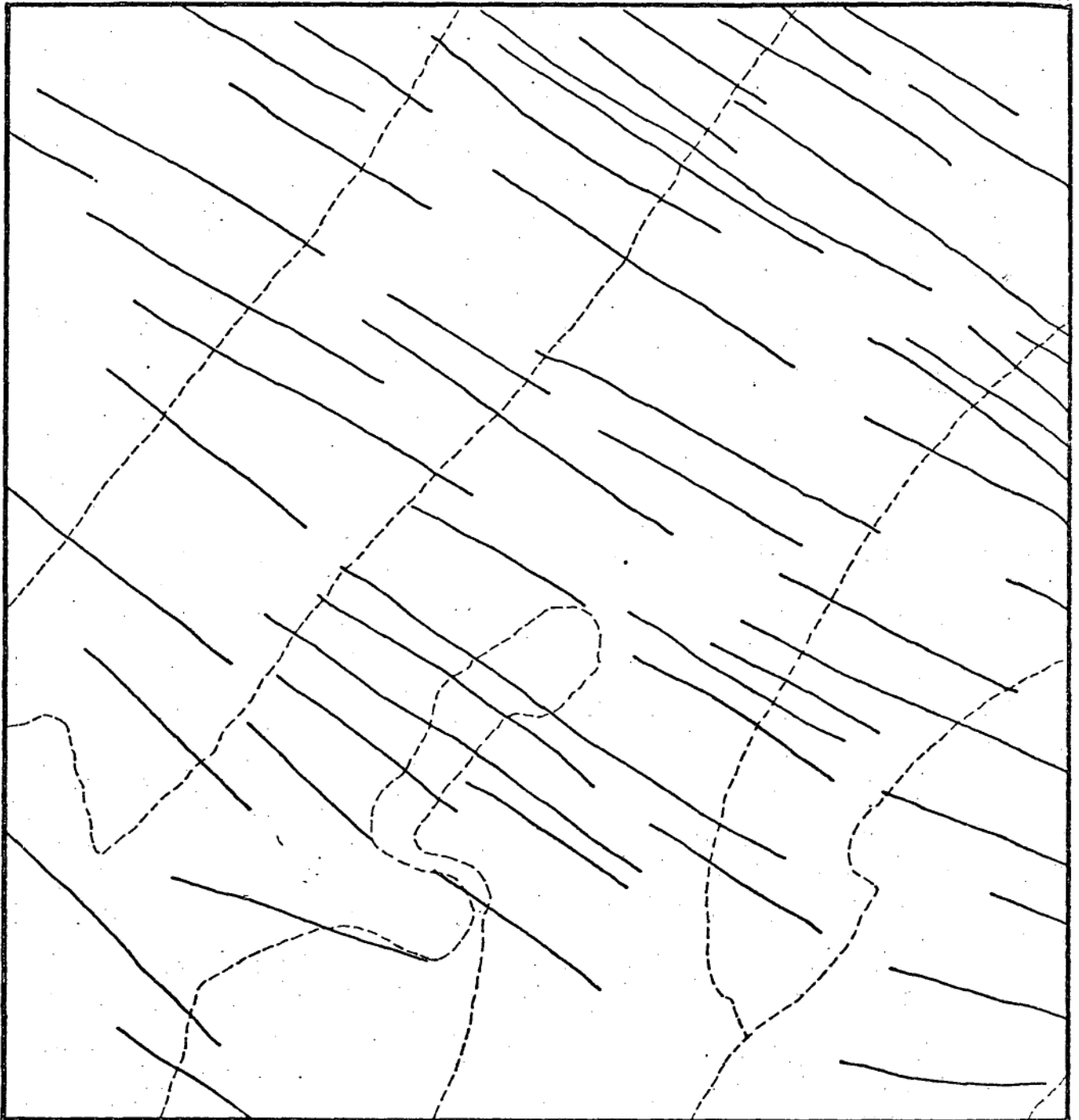


FOTO 4 5 3 6

APÊNDICE M.

25° 07' S
49° 32' W

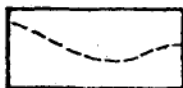
25° 07' S
49° 25' W



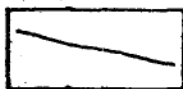
25° 14' S
49° 32' W

25° 14' S
49° 25' W

LEGENDA



LIMITES LITOLÓGICOS



DIQUES

1 Km 0 Km 1 Km 2 Km 3 Km.

ESCALA