

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO  
FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE  
DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE RECURSOS NATURAIS E ESTUDOS AMBIENTAIS

SÉRIE MANUAIS TÉCNICOS EM GEOCIÊNCIAS  
Número 3

# **INTRODUÇÃO À INTERPRETAÇÃO RADARGEOLÓGICA**

Mário Ivan Cardoso de Lima

Rio de Janeiro  
1995

# FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE

Av. Franklin Roosevelt, 166 - Centro - 20021-120 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

ISSN 0103-9598 (série)  
ISBN 85-240-0451-7

© IBGE

## EQUIPE EDITORIAL

### Editoração Eletrônica

Divisão de Editoração/Departamento de Editoração e Gráfica -DEDIT/CDDI

### Estruturação Editorial

Luiz Carlos Chagas Teixeira  
Vilma da Costa Vidal

### Copidesque

Antonio Carvalho da Silva  
Helian Schmidt Pereira  
Solange Gomes de Souza

### Revisão

José Luís Nicola  
Kátia Domingos Vieira  
Paulo Roberto Simões  
Umberto Patrasso Filho

### Edição

Elizabeth Cruz da Silva  
Vanda Ribeiro dos Anjos

## Diagramação

Alberto Guedes da Fontoura Neto  
Ana Maria de Sá Daltro

## IMPRESSÃO

Divisão de Gráfica/Departamento de Editoração e Gráfica - DEDIT/CDDI, em abril de 1995. OS 03.01.1.0013/93

## CAPA

Aldo Victorio Filho e Mauro Emílio Araújo - Divisão de Promoção/ Departamento de Promoção e Comercialização - DECOP/CDDI.  
Estampa 1 - Refletor de Campo

---

Lima, Mário Ivan Cardoso de  
Introdução à interpretação radargeológica / Mário Ivan Cardoso de Lima. — Rio de Janeiro : IBGE, Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 1995.

124p. — (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 3)

ISBN 85-240-0451-7

1. Radar em geociências. 2. Imagens - Interpretação. 3. Geologia - Pesquisa. I. IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. II. Título. III. Série.

IBGE, CDDI, Dep. de Documentação e Biblioteca  
RJ / IBGE 92-32

CDU 55:528.873.044  
GEO

---

Impresso no Brasil / Printed in Brazil

*Dedico este trabalho às minhas mulheres: Maria José, Lília Maria, Maria Ivany, Marília, Poliana e Natália. Razões de meu esforço, dedicação e existência.*

## AGRADECIMENTOS

Consignam-se os mais sinceros agradecimentos às chefias e setores operacionais da DIGEO/NE.1, DIGEO/N, DIPEQ/PA e DERNA do IBGE pela digitação dos manuscritos e confecção das ilustrações gráficas que compõem a presente pesquisa. De igual modo, agradece-se à biblioteconomista Maria Ivany Cardoso de Lima (DIGEO/NE.1) responsável pela normalização da bibliografia aqui exibida.

Os agradecimentos são também extensivos aos engenheiros florestais Ney Alves Ferreira e Luiz Góes-Filho, ao Chefe do Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais - DERNA -, e ao Diretor de Geociências - DGC - do IBGE, pelo incentivo e apoio fornecidos em todas as etapas da elaboração da presente obra.

Especiais agradecimentos são devidos aos geólogos Jaime Franklin Vidal Araújo (grande incentivador desta obra), Lin Chan Chiang, Waldir Renato Paradella, Juércio Tavares de Mattos, Alberto Pio Fiori, Francisco Mota Bezerra da Cunha e João Batista Sena Costa pela leitura crítica dos manuscritos e sugestões apresentadas.

## APRESENTAÇÃO

O embrião da presente pesquisa surgiu em 1978 quando houve o gentil convite do diretor do Instituto de Geografia da UFMG, por indicação do notável geomorfólogo Getúlio Vargas Barbosa (falecido), para que fosse ministrado um curso de interpretação geológica em imagens de radar para os professores de Geografia daquele instituto. Posteriormente, prestaram-se cursos em várias instituições brasileiras representadas por universidades (UFPA, UFBA, UFOP e UFRJ), RADAMBRASIL (Salvador e Natal), DNPM (Belém e Fortaleza), CPRM (Belém e Manaus), SBG (Belém e Salvador), IBGE (Rio de Janeiro e Salvador) e EsIE (Salvador).

De qualquer sorte o autor já trabalhava em imagens de radar desde 1972, no entanto sempre de forma empírica, uma vez que inexistiam compêndios especializados sobre o assunto. Por conseguinte, os procedimentos metodológicos referentes à interpretação radargeológica aqui apresentados e discutidos retratam uma experiência de cerca de 15 anos, adquirida no decurso do desenvolvimento do então Projeto RADAMBRASIL (RADAM), extinto em 4 de março de 1986. Deste modo, as imagens RVL aqui utilizadas, GEMS-Banda X, com recobrimentos em dois períodos, 1971/1972 e 1975/1976, são as mesmas que foram estudadas pelo referido projeto.

O neologismo radargeológico aqui adotado constitui uma versão do termo inglês *radargeological* utilizado por Melkel (1972), a fim de definir a interpretação geológica baseada em imagens de radar (RVL). Em tempo, Lima (1978) já utilizou o citado termo, ao passo que Liu & Rodrigues (1985) se referem à "radargeologia".

A presente pesquisa deve interessar principalmente a geólogos e geomorfólogos, em vista do seu conteúdo técnico-científico. Contudo, o especialista em Pedologia, Fitoecologia ou Cartografia poderá auferir muitas informações, em especial àquelas relativas ao Capítulo I. Acredita-se que o presente compêndio terá seu grande campo de aplicação nas universidades por conta de seu caráter introdutório e essencialmente didático.

Divide-se esta obra em cinco capítulos. No primeiro procura-se mostrar os principais parâmetros que devem ser observados, quando da leitura da imagem, de forma simples e prática, enfocando apenas alguns princípios físicos, cujos exemplos constam de cinco estampas, as quais são discorridas no texto e nelas são indicadas as particularidades do sensor radar que se pretende enfatizar. O Capítulo II constitui o âmago do trabalho relevando de forma paciente e sistemática o roteiro metodológico adotado, quer através do texto, quer através de estampas e ilustrações, de maneira bem acadêmica. Ademais, caso o leitor se interesse em verificar como as estruturas, convenções relativas ao relevo, drenagem e outras informações foram traçadas, basta tirar uma cópia transparente da figura e sobrepô-la na estampa, em vista de estarem na mesma escala. Para entender as convenções utilizadas nas figuras, basta se reportar às legendas, em número de seis, a fim de entender seu significado. O Capítulo III é uma aplicação do capítulo anterior, no qual se selecionaram cinco áreas-chave de interpretação e o mesmo procedimento das cópias transparentes pode ser adotado. Com efeito, no decorrer do Capítulo II selecionou-se uma área-modelo para servir de paradigma aos diferentes estádios metodológicos abordados e no Capítulo III apresenta-se o fecho dessa área, com uma interpretação radargeológica. O Capítulo IV enfoca as principais conclusões a respeito do sensor e metodologia e no Capítulo V apresenta-se a relação bibliográfica utilizada.

Gostaria de deixar bem claro que o autor se coloca à disposição de todos aqueles que prolatarem opiniões construtivas, no intuito de modificar a presente metodologia ou conceitos emitidos, visando a adequá-la a uma situação mais condizente com a verdade terrestre, tornando-a mais pragmática.

Rio de Janeiro, RJ , janeiro de 1995

**Sergio Bruni**  
Diretor de Geociências

# SUMÁRIO

## PRINCÍPIOS BÁSICOS DE RADAR DE VISADA LATERAL (RVL)

1 Introdução .....	15
2 Ondas Eletromagnéticas .....	15
3 Bandas de Radar .....	19
4 Sistemas de Radar .....	19
4.1 Orbitais .....	20
4.2 Equipados em Aeronaves .....	21
5 Radar de Visada Lateral .....	22
5.1 Sistemas de Abertura Real (RAR) e Sintética (SAR) .....	26
5.2 Geometria de Radar .....	30
5.2.1 Sombra de Radar .....	30
5.2.2 Encurtamento de Radar .....	32
5.2.3 Fantasma de Radar (Radar Layover) .....	33
5.2.4 Paralaxe de Radar .....	33
6 Produtos e Aplicações .....	34
7 Considerações Finais .....	34

## METODOLOGIA DA INTERPRETAÇÃO RADARGEOLÓGICA

1 Introdução .....	37
2 Metodologia .....	37
3 Sistemática .....	41
4 Estádio Reconhecimento .....	47
4.1 Textura Radargráfica .....	47
4.2 Tom Radargráfico .....	51
5 Estádio Identificação .....	54
5.1 Forma, Estrutura e Padrão .....	54
5.2 Formas de Relevo .....	54
5.2.1 Topo .....	54
5.2.2 Pendente .....	56
5.2.3 Quebra de Relevo .....	56
5.2.4 Grau de Dissecação .....	56
5.3 Padrão de Drenagem .....	60
5.4 Morfoestrutura .....	74

6 Estádio Análise .....	77
6.1 Feições Planares .....	77
6.2 Feições Lineares .....	81
6.3 Feições Tabulares .....	85
7 Estádio Interpretação .....	92
7.1 Interpretação Litológica .....	92
7.2 Discordâncias .....	97
7.3 Estruturas Circulares .....	100
7.4 Descontinuidades .....	103
7.5 Dobras .....	109
7.6 Redobramentos .....	111

## EXEMPLOS PRÁTICOS

1 Introdução .....	113
2 Descrição das Interpretações .....	113
2.1 Região de Pedra Azul (Minas Gerais) .....	113
2.2 Região da Serra do Padre (Amazonas) .....	114
2.3 Região da Serra da Providência (Rondônia) .....	115
2.4 Região de Cáceres (Mato Grosso) .....	116
2.5 Região da Chapada dos Veadeiros (Goiás) .....	119

CONCLUSÕES .....	121
------------------	-----

BIBLIOGRAFIA .....	123
--------------------	-----

## Figuras

1 a, b, c, d, Ondas Eletromagnéticas .....	16
2 Espectro Eletromagnético .....	18
3 Parâmetros do Sistema RVL .....	22
4 Tempo e Amplitude de Sinal da Reflexão no Sistema RVL .....	23
5 Tipos de Reflexão .....	24
6 Relação entre AO e AT .....	25
7 Rede Quadrada, Apresentação do Alcance no Terreno (AT) .....	26
8 Rede Quadrada, Distorção pela Apresentação do Alcance Oblíquo (AO) .....	26
9 Resolução Longitudinal .....	27
10 Resolução Transversal .....	27
11 Princípio do Sistema RVL de Abertura Real (RAR) .....	27
12 Princípio do Sistema RVL de Abertura Sintética (SAR) .....	28
13 Comparação entre Resoluções de Antenas de Aberturas Sintética (SAR) e Real (RAR) .....	29
14 a, b, c, d, e, f, Princípios da Formação de Imagens em Antena de Abertura Sintética .....	29
15 Relação entre o Ângulo de Depressão e o Comprimento da Sombra de Radar .....	30
16 Layover, Normal e Encurtamento .....	31
17 Variação na Inclinação da Topografia e Efeitos do Ângulo de Incidência .....	33
18 Relação de Variação entre o Ângulo de Depressão e o Ângulo de Incidência .....	33
19 Paralaxe de Radar .....	34

20 Esquema do Imageamento RVL .....	35
21 a, b, c, d, e, Estádios da Interpretação Radargeológica .....	38
22 Ilusões de Ótica .....	39
23 a, b, c, d, e, Metodologia da Interpretação Radargeológica .....	40
24 Sistemática da Interpretação Radargeológica .....	41
25 Redobramentos em Metassedimentos de Baixo Grau Metamórfico. Folha SD.23-Z-D .....	43
26 Textura/Tom (Estádio Reconhecimento) .....	43
27 Drenagem/Formas de Relevo (Estádio Identificação) .....	44
28 Feições Planares, Lineares e Tabulares (Estádio Análise) .....	44
29 Interpretação Geológica (Estádio Interpretação) .....	45
30 Feições Antrópicas. Folha SD.24-Y-C .....	46
31 Células Texturais <i>versus</i> Texturas .....	49
32 Textura/Tom. Folha SD.24-Y-C .....	50
33 Comprimentos de Onda e sua Penetração na Cobertura Vegetal .....	51
34 Retroespalhamento <i>versus</i> Vegetação (Banda X) .....	53
35 Configuração dos Topos em RVL.....	55
36 Formas de Relevo. Folha SD.24-Y-C.....	59
37 a, b, c, d, e, f, g, h, Padrões de Drenagens Básicos .....	61
38 a, b, c, d, e, f, g, h, Padrões de Drenagens Básicos Modificados .....	62
39 a, b, c, d, e, f, g, h, Padrões de Drenagens Básicos Modificados .....	63
40 Padrão de Drenagem Dendrítico. Folha SC.23-Y-A .....	68
41 Padrão de Drenagem Anastomótico. Folha SE.21-V-B .....	68
42 Padrão de Drenagem Paralelo. Folha SE.24-V-B .....	68
43 Padrão de Drenagem Treliza. Folha SD.23-Z-D .....	69
44 Padrões de Drenagens Treliza e Retangular. Folha SF.23-Z-A.....	69
45 Padrões de Drenagens Distributário e Retangular. Folha NA.19-Z-D.....	69
46 Padrão de Drenagem Multibasinal. Folha SD.23-X-D .....	70
47 Padrão de Drenagem Retangular. Folha SD.23-Y-B .....	70
48 Padrão de Drenagem Anelar. Folha SD.23-V-C .....	70
49 Propriedades da Rede de Drenagem.....	72
50 Rios quanto à Estrutura Geológica .....	73
51 Padrões de Drenagens. Folha SD.24-Y-C .....	73
52 Análise do Arranjo dos Elementos de Drenagem.....	75
53 Anomalia de Drenagem do São Tomé (Pará). Folha SC.21-V-B .....	76
54 Anomalia de Drenagem do Erepecu (Pará). Folha SB.21-X-C.....	76
55 Anomalia de Drenagem do Uíca (Piauí). Folha SB.23-Z-D.....	77
56 Expressão Topográfica de um Estrato.....	78
57 Bloco - Diagrama Ilustrando a Regra dos V's em Estruturas Planares ( <i>Cuesta</i> ) .....	78
58 a, b, c, d, e, f, Regra dos V's em Camadas Horizontais, Verticais e Inclínadas em Relação a Curvas de Nível. ....	78
59 Feições Planares ( <i>Cuesta</i> ). Folha SD.23-Z-B .....	80
60 Feições Planares ( <i>Hogback</i> ). Folha SD.23-X-B .....	80
61 Feições Planares Secundárias. Folha SD.23-Y-C .....	80
62 Feições Lineares Positivas e Planares Curvilíneas. Folha SD.21-Z-B .....	82
63 Feições Lineares Positivas e Planares Curvirretilíneas. Folha SD.23-X-D .....	82

64 Feições Lineares Positivas Retilíneas. Folha SF.23-X-D.....	83
65 Feições Lineares Negativas (Retilínea e Elíptica). Folha SE.24-Y-D.....	84
66 Feições Lineares Negativas e Planares. Folha SE.24-Y-A.....	85
67 Método dos Polígonos. Redobramentos em Seqüências Metamórficas de Alto Grau. Modelo Tipo Laço. Folha SC.20-Z-A.....	87
68 Feições Tabulares (Zonas de Silicificação). Folha SA.22-V-D.....	89
69 Feições Tabulares (Diques Básicos). Folha NA.22-V-D.....	89
70 Feições Tabulares (Diques Ácidos). Folha SE.23-Z-C.....	89
71 Feições Planares, Lineares e Tabulares. Folha SD.24-Y-C.....	90
72 Os Quatro Tipos de Discordâncias.....	97
73 Discordância Erosiva. Folha SA.21-X-C.....	99
74 Discordância Angular. Folha SF.23-X-D.....	99
75 Discordância Angular e Erosiva. Folha SA. 21-V-B.....	99
76 Estrutura Circular (Astroblema). Folha SC.23-V-A.....	102
77 Estruturas Circulares: alcalina e básica. Folha NA.19-Z-D.....	102
78 Estrutura Circular. Corpo Ígneo em Oito: básica e ácida. Folha SF.24-V-A.....	102
79 Comportamento dos Corpos em Função de um Diagrama P-T.....	103
80 Relação dos Níveis Estruturais em um Diagrama P-T.....	103
81 Mecanismos de Deformação.....	104
82 Níveis Estruturais.....	105
83 Classificação Descritiva de Fraturas.....	105
84 a, b, c, Falhas quanto ao Movimento Aparente.....	106
85 Falha Inversa de Alto Ângulo. Folha SD.23-Z-D.....	108
86 Elementos Geométricos de uma Dobra.....	109
87 Dobras sem Caimento.....	109
88 Dobras com Caimento.....	109
89 Estruturas Dobradas em Metassedimentos de Baixo Grau. Folha SD.21-Z-A.....	110
90 Padrões de Interferência de Dobramentos.....	111
91 Interpretação Radargeológica. Folha SD.24-Y-C.....	113
92 Falha de Deslocamento Horizontal em Sedimentos. Folha NA.21-Z-D.....	114
93 Falha Inversa de Alto Ângulo. Folha SC.20-Z-A.....	116
94 Estruturas Dobradas em Metassedimentos de Baixo Grau. Folha SE.21-V-B.....	118
95 Redobramentos em Metassedimentos de Baixo Grau. Folha SD.23-Y-A.....	120

## Estampas

1 Refletor de Canto. Região do Além São Francisco (Bahia). Folha SD.23-X-C.....	25
2 Sombra de Radar, Encurtamento de Radar e Grazing. Região da Serra da Providência (Rondônia). Folha SC.20-Z0-A.....	31
3 Sombra de Radar e Encurtamento de Radar. Serra do Imeri (Pico da Neblina). Limite Brasil (Amazonas/Venezuela). Folha NA.19-Z-D.....	32
4 Sombra de Radar, Encurtamento de Radar e Layover (?). Região da Serra do Caparaó (Minas Gerais/Espírito Santo). Folha SF.24-V-A.....	32
5 Feições Antrópicas. Região de Brasília-DF. Folha SD.23-Y-C.....	36
6 Redobramentos em Metassedimentos de Baixo Grau Metamórfico. Região de Rio Pardo de Minas (Minas Gerais). Folha SD.23-Z-D.....	42
7 Área Modelo. Região de Pedra Azul (Minas Gerais/Bahia).Folha SD.24-Y-C.....	46

8 a, b, c, d, e, f, g, h Texturas Radargráficas. Folha SD.24-V-D. ....	47
9 Tom em Terreno Plano. Norte do Rio Tacutu (Roraima). Folha NA.20-X-B.....	52
10 Tom em Terreno Plano. Foz do Rio Parnaíba (Maranhão/Piauí). Folha SA.24-Y-A .....	53
11 a, b, c, d, e, f, g, h Configurações de Topo e Pendente. ....	55
12 a; b, c, d, e, f, Grau de Dissecação. Folha SB.22-X-C.....	56
13 a, b, c, d, e, f, Grau de Dissecação. Folha SD.24-V-D.....	57
14 Padrão de Drenagem Dendrítico. Folha SC.23-Y-A .....	65
15 Padrão de Drenagem Anastomótico. Folha SE.21-V-B.....	65
16 Padrão de Drenagem Paralelo. Folha SE.24-V-B.....	65
17 Padrão de Drenagem Trelíça. Folha SD.23-Z-D .....	66
18 Padrões de Drenagens Trelíça e Retangular. Folha SF.23-Z-A.....	66
19 Padrões de Drenagens Distributário e Retangular. Folha NA.19-Z-D.....	66
20 Padrão de Drenagem Multibasinal. Folha SD.23-X-D .....	67
21 Padrão de Drenagem Retangular. Folha SD.23-Y-B .....	67
22 Padrão de Drenagem Anelar. Folha SB.24-V-C .....	67
23 Anomalia de Drenagem. Região do Lago Erepecu (Pará). Folha SB.21-X-C .....	76
24 <i>Cuesta</i> . Folha SD.23-Z-Bt .....	79
25 <i>Hogback</i> . Folha SD.23-X-B .....	79
26 Feições Planares Secundárias. Folha SD.23-Y-C .....	79
27 Feições Lineares Positivas Curvilíneas e Planares. Folha SD.21-Z-B .....	81
28 Feições Lineares Positivas Curvi-retilíneas e Planares. Folha SD.23-X-D .....	81
29 Feições Lineares Positivas Retilíneas. Folha SF.23-X-D .....	82
30 Feições Lineares Negativas. Região de Aracruz (Espírito Santo). Folha SE.24-Y-D .....	83
31 Feições Lineares Negativas e Planares. Região de Ecoporanga (Espírito Santo). Folha SE.24-Y-A .....	84
32 Terrenos de Alto Grau Metamórfico. Região de Nova Vida (Rondônia). Folha SC.20-Z-A.....	86
33 Feições Tabulares de Topo Agudo. Folha SA.22-V-D.....	88
34 Feições Tabulares de Topo Convexo. Folha NA.22-V-D .....	88
35 Feições Tabulares de Topo Agudo. Folha SE.23-Z-C.....	88
36 Plutônicas e Vulcânicas Ácidas. Interflúvio Mapuera-Cachorro (Pará). Folha SA.21-V-B .....	94
37 Plutônicas Ácidas e Básicas e Vulcânicas Ácidas. Serra da Suretama (Pará). Folha SA.21-V-B .....	94
38 Plutônica Ácida e Metassedimentos. Morro da Cara Suja (Bahia). Folha SD.23-X-D .....	95
39 Vulcânicas Básicas e Psamitos. Serra de Tapirapuã (Mato Grosso). Folha SD.21-Z-A .....	95
40 Psamitos e Pelitos. Alto Erepecuru (Pará). Folha SA.21-X-C.....	95
41 Carbonatos. Região de Sete Lagoas (Minas Gerais). Folha SE.23-Z-C.....	96
42 Granulitos e Quartzitos. Região de Irajuba (Bahia). Folha SD.24-V-D .....	96
43 Quartzitos e Gnaisses. Serra de Boritirama (Pará). Folha SB.22-X-C.....	96
44 Quartzitos, Xistos e Gnaisses. Região de Belo Horizonte (Minas Gerais). Folha SE.23-Z-C .....	97
45 Discordância Erosiva. Lago de Erepecu (Pará). Folha SA.21-X-C.....	98
46 Discordância Angular. Leste de Juiz de Fora (Minas Gerais). Folha SF.23-X-D.....	98
47 Discordância Angular e Erosiva. Nordeste do Jari (Amapá). Folha SA.21-V-B.....	98
48 Astroblema. Serra da Cangalha (Tocantins). Folha SB.23-V-A .....	101
49 Estrutura Circular. Morro dos Seis Lagos (Amazonas). Folha NA.19-Z-D .....	101
50 Estrutura Circular. Região de Santa Angélica (Espírito Santo). Folha SF.24-V-A.....	101

51 Falha Inversa de Alto Ângulo. Serra do Espinhaço (Minas Gerais). Folha SD.23-Z-D.....	107
52 Estruturas Dobradas em Metassedimentos de Baixo Grau. Serra do Tira Sentido (Mato Grosso). Folha SD.21-Z-A.....	110
53 Falha de Deslocamento Horizontal. Serra do Padre (Amazonas). Folha NA.21-Z-D.....	114
54 Falha Inversa de Alto Ângulo. Serra da Providência (Rondônia). Folha SC.20-Z-A.....	115
55 Estruturas Dobradas. Região de Cáceres (Mato Grosso). Folha SE.21-V-B.....	117
56 Redobramentos. Região da Chapada dos Veadeiros (Goiás). Folha SD.23-Y-A.....	119

## **Tabelas**

1 Bandas de Radar.....	19
2 Características dos Sistemas RVL.....	19
3 Modos de SAR (RADARSAT).....	21
4 Índices de Dissecação.....	56
5 Análise da Drenagem na Interpretação Geológica (Mod. Howard, 1976).....	60
6 Critérios para Identificação de Litótipos.....	93
7 Identificação de Rochas Ígneas.....	93
8 Identificação de Rochas Sedimentares.....	93
9 Identificação de Rochas Metamórficas.....	94

## **Legendas**

1 Convenções Utilizadas na Interpretação de Feições Antrópicas (Grafite Amarelo).....	47
2 Convenções e Abreviaturas Utilizadas na Interpretação e Definições de Textura/Tom (Grafite Marrom).....	50
3 Convenções e Abreviaturas Utilizadas na Interpretação das Formas de Relevo (Grafite Marrom).....	58
4 Convenções e Abreviaturas Utilizadas na Interpretação da Drenagem (Grafite Verde).....	64
5 Convenções Utilizadas na Interpretação Estrutural.....	91
6 Convenções e Abreviaturas Utilizadas na Interpretação Litológica.....	92

# PRINCÍPIOS BÁSICOS DE RADAR DE VISADA LATERAL (RVL)

## 1 Introdução

Adjudica-se o princípio de Radar ao norte-americano Hugo Gernsback, em 1911. No entanto, somente em 1934, o mesmo foi acoplado a um navio por Pierre David, e um ano após, em 1935, Maurice Ponte e Henri Gerthon o instalaram a bordo de um avião, tendo como objetivo primacial a navegação. Para fins militares, no entanto, o privilégio deve-se a Robert Watson-Watt, cujas experiências foram concluídas em 1939. No decorrer da Segunda Guerra Mundial o mesmo equipou a Inglaterra com eficiente rede de radar.

O termo "RADAR" é derivado da expressão inglesa *Radio Detecting And Ranging*, que significa: detectar e medir distâncias através de ondas de rádio.

A partir da década de 60 os geocientistas procuraram aplicar os princípios de Radar para fins de levantamento de recursos naturais. A grande vantagem do sensor Radar é que o mesmo independe da cobertura de nuvens. Pelo fato de ser um sensor ativo não depende da luz solar e conseqüentemente pode ser usado à noite, o que diminui sobremaneira o período de tempo do aerolevantamento, a exemplo do que ocorreu em território brasileiro na cobertura efetuada pela Aero Service-Cruzeiro do Sul-LASA.

O primeiro projeto de larga escala para levantamento geológico foi realizado em 1968, na província de Darien (Panamá), em uma área com cerca de 20 000 km<sup>2</sup>, em vista da impossibilidade de aquisição de fotos aéreas verticais, devido à constante cobertura de nuvens aliada à presença de densa floresta ombrófila e espesso manto de intemperismo, fatores que dificultam sobremaneira a interpretação fotogeológica. Tal levantamento foi realizado pela Westinghouse Electric Corporation em cooperação com a Raytheon Company, empregando um sistema de Radar de Abertura Real (RAR). Outros trabalhos de relevância foram também realizados na América do Sul, em especial na Região Amazônica, pela Grumman Ecosystems com um sistema de Radar desenvolvido pela Motorola Inc e Good Year/Aero Service. Esta realizou o levantamento de todo o território brasileiro, com a primeira fase em 1972 (Projeto RADAM) e posteriormente em 1976, na complementação do restante do Brasil (Projeto RADAMBRASIL). De igual modo, cobriu em 1972 a Amazônia venezuelana, em 1978 a Amazônia colombiana e em 1983 a Amazônia equatoriana e parte andina.

Desde o final da década de 70 até o presente momento, uma série de programas de sistemas de Radar foram executados ou estão em avançado estágio de desenvolvimento: SEASAT; SIR-A, SIR-B, SIR-C (EUA); ERS-1 e ERS-2 (Europa); JERS-1 e JERS-2 (Japão); ALMAZ (Rússia) e RADARSAT (Canadá). Deste modo, os princípios básicos aqui reportados visam construir um alicerce, a fim de possibilitar ao intérprete um melhor entendimento deste sensor na sua aplicação aos princípios geológicos. Sabe-se que todo o território brasileiro encontra-se coberto por imagens do Radar da GEMS, banda X, escala original de 1:400 000, que serviram de base para os levantamentos de recursos naturais efetivados pelo então Projeto RADAMBRASIL (RADAM), no período de 1971-1986. Por conseguinte, o presente trabalho se baseia essencialmente neste sistema de Radar, ressaltando-se que os princípios aqui colocados são válidos para outros sistemas, devendo-se, no entanto, guardar as devidas características geométricas e atributos físicos de cada um.

Os itens seguintes visam a fornecer alguns conceitos básicos sobre ondas eletromagnéticas, com o intuito de se entender melhor a faixa das microondas, na qual se situa o Radar de Visada Lateral (RVL).

## 2 Ondas Eletromagnéticas

Certa energia somente é caracterizada como calor quando passa de um corpo para outro, em vista de uma diferença de temperatura entre eles. A propagação do calor dá-se de três maneiras distintas: condução, convecção e irradiação. Na primeira a transmissão de calor se desenvolve através do corpo, quando uma porção do mesmo está mais quente que a outra. O fenômeno da condução é também encontrado nos líquidos e gases, no entanto é mais comum nos sólidos. Nele, o calor é transportado por movimento de matéria. A água de resfriamento de um motor de automóvel move-se do bloco do motor até o radiador. O calor retirado do motor é transportado pela água. O terceiro e último tipo, no entanto, independe da existência de matéria em seu percurso: irradiação. O mesmo é o grande responsável pela transmissão do calor do Sol para a Terra, à semelhança do aquecimento próximo ao forno de um fogão ou ferro

elétrico. A irradiação constitui a maneira mais comum de propagação de calor no domínio do sensoriamento remoto.

Conforme explicitado por Salmeron (1964), sabe-se que uma carga elétrica  $Q$  produz ao seu redor um campo elétrico  $E$  (Figura 1a). Supondo-se que essa carga elétrica entre em movimento, desenvolver-se-á em seu redor uma corrente magnética. Deste modo, uma carga elétrica em movimento produz ao seu redor dois campos: o elétrico, que existe sempre, e o magnético, que ele produz pelo fato de estar em movimento.

Então  $R$  é a região abrangida por esses dois campos (Figura 1b). Quando a carga  $Q$  se desloca, os dois campos também se deslocam. Considerando uma direção  $R$  qualquer, os campos elétrico e magnético vão atingindo sucessivamente os pontos  $A, B, C$ , etc., à medida que a carga se desloca. Por conseguinte, os campos elétrico e magnético podem propagar-se juntos, desde que uma carga elétrica entre em movimento.

Se o movimento da carga é retilíneo e uniforme, então só há propagação dos campos, enquanto a carga está em movimento. Mas se o movimento não for retilíneo e uniforme, isto é, se a carga for acelerada ou retardada, então se observa que:

- esses dois campos continuam avançando pelo espaço, e em todas as direções mesmo que a carga pare; e
- esses dois campos avançam com uma velocidade igual a velocidade da propagação da luz.

Chama-se onda eletromagnética ao conjunto dos campos elétrico e magnético propagando-se pelo espaço. As ondas eletromagnéticas são sempre conduzidas por cargas elétricas aceleradas ou retardadas. Denomina-se onda pelo fato da variação de sua amplitude (módulo do vetor), como visto na Figura 1c.

Deste modo, vê-se que nas ondas eletromagnéticas não existem partículas materiais em movimento ondulatório, como, por exemplo, no caso das ondas sonoras ou das ondas que se formam na superfície da água:

O campo elétrico se propaga em um plano, isto é, os vetores elétricos  $E$  se dispõem em um certo plano  $P_1$ . O campo magnético se propaga em um outro,  $P_2$ . Uma propriedade importante das ondas eletromagnéticas é que esses dois planos são perpendiculares entre si. Os vetores  $H$  estão em um plano perpendicular ao plano dos vetores  $E$ , como indica a Figura 1a.

Chama-se comprimento de onda eletromagnética a distância entre dois pontos consecutivos, em que o vetor  $E$  (ou  $H$ ) tem mesmo módulo e mesmo sentido. É a distância  $\lambda$  da Figura 1c.

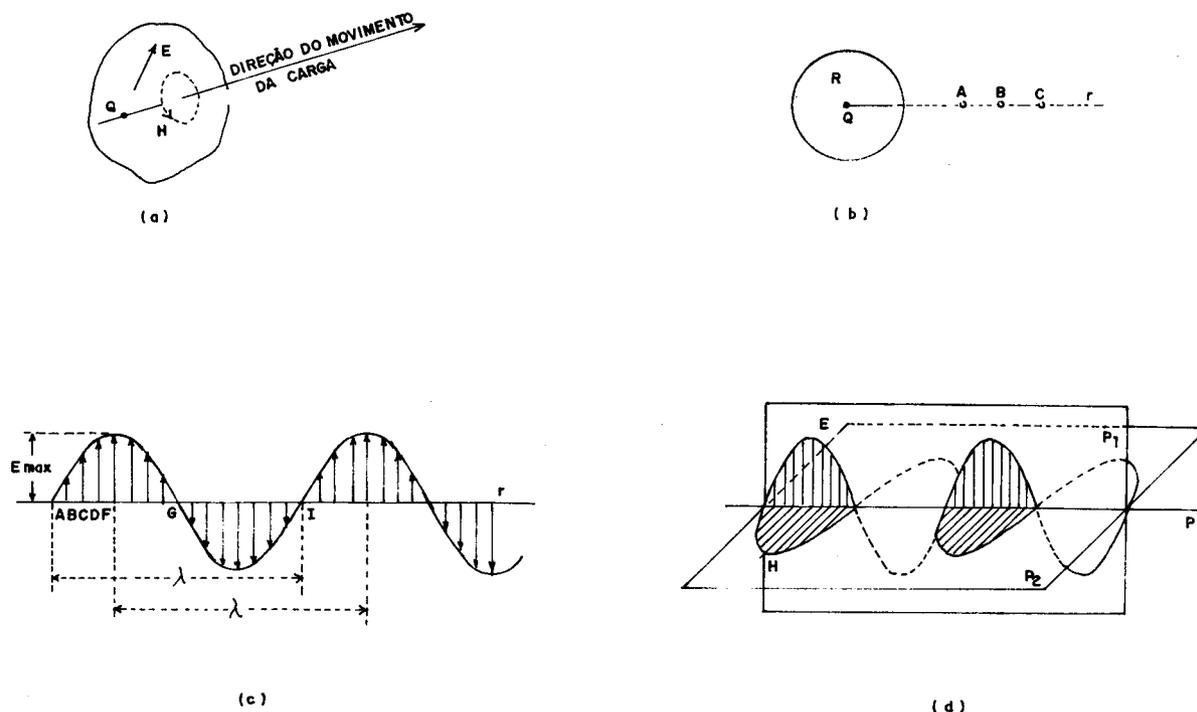


Figura 1 a, b, c, d - Ondas Eletromagnéticas (Salmeron, 1964).

Chama-se período da onda eletromagnética (T) ao intervalo de tempo necessário para a onda caminhar um comprimento de onda.

Representado por V a velocidade de propagação das ondas eletromagnéticas e por T o período tem-se:

$$\lambda = V/T$$

A velocidade de propagação idêntica para todas as ondas eletromagnéticas é igual à velocidade de propagação da luz. O seu valor no vácuo costuma-se representar pela letra (c) e é:

$$c = 299\,796 \text{ km/s}$$

Na prática aproxima-se para:

$$c = 300\,000 \text{ km/s}$$

Chama-se frequência de uma onda eletromagnética (f) ao inverso do período. Ela representa o número de ondas passando por um ponto fixo P, em uma unidade de tempo (cps ou hertz).

Para referenciar os diferentes comprimentos de onda é comum utilizar-se as seguintes medidas: micrômetro ( $\mu\text{m}$ ), nanômetro (nm) e picômetro (pm). A conversão dos mesmos com relação ao cm é a seguinte:

$$- 1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{ cm}$$

$$- 1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ cm}$$

$$- 1 \text{ pm} = 10^{-9} \text{ cm}$$

A história dos estudos das radiações começa com as pesquisas sobre eletromagnetismo, realizadas pelo físico escocês James Maxwell. Até então, conheciam-se inúmeros fenômenos ondulatórios, mas não existia uma teoria globalizadora que os explicasse; somente com os trabalhos de Maxwell foi possível reuni-los em uma classe de fenômenos físicos. As radiações eletromagnéticas são distribuídas em um espectro contínuo, dividido em classes mais ou menos arbitrárias, que refletem o passado histórico de seu estudo. Começa-se pelas frequências mais baixas que são as Ondas de Rádio - OR -, Radiação Infravermelha - IV -, Espectro Visível, Radiação Ultravioleta - UV -, Raios X -RX - e finalmente chega-se aos Raios Gama - RY -, que são os de frequência mais alta (Figura 2).

Na Figura 2 apresenta-se de forma esquemática o espectro eletromagnético, dando-se destaque para o visível, no qual se tem violeta (VI), azul (A), verde (VE), amarelo (AM), laranja (L) e vermelho (VR), como também o infravermelho próximo (IVP), infravermelho médio (IVM) e infravermelho distante (IVD). Tal divisão visa relacionar as faixas compreendidas pelos sistemas LANDSAT-MSS, LANDSAT-TM e SPOT.

As radiações eletromagnéticas de menor frequência são as Ondas de Rádio (OR), cujos comprimentos de ondas se estendem de centenas de km até 100 cm. Estas radiações são utilizadas pelo homem nas transmissões radiofônicas (ondas curtas, médias e longas). Na natureza as Ondas de Rádio são transmitidas por estrelas e nebulosas.

Sua captação por meio de radiointerferômetros e radiotelescópios permite o estudo desses corpos celestes quando eles se encontram além de distâncias alcançadas pelos telescópios óticos.

Depois das Ondas de Rádio, têm-se as Microondas (MO), cujos comprimentos de onda vão de 100 cm a 1 mm. As microondas são utilizadas nas comunicações telefônicas, assim como nas estações retransmissoras de televisão, sistema de radiogoniometria e outros.

As radiações Infravermelhas (IV) estão compreendidas entre o intervalo de comprimento de onda de 0,78  $\mu\text{m}$  a 1 000  $\mu\text{m}$ . Sua descoberta deve-se ao astrônomo Williams Herschel. Estudando o arco-íris produzido pela luz solar, Herschel descobriu que as diversas cores aqueciam em grau variável um termômetro; o aquecimento, no entanto, era maior quando o termômetro era colocado antes da faixa vermelha do arco-íris, onde já não há mais luz. O citado cientista interpretou que ali estariam radiações que o olho humano não percebia, daí o nome infravermelho.

Qualquer corpo é emissor de radiações infravermelhas. Essa emissão cresce proporcionalmente com sua temperatura. O ferro de passar roupa, um aquecedor e o próprio corpo humano emitem radiações. As estrelas, por sua vez, são potentes emissoras. O homem, no entanto, só percebe sua presença quando são muito intensas. A área mais sensível é o dorso das mãos.

A radiação visível constitui a faixa mais estreita das radiações. Engloba as que podem ser percebidas pela visão humana. Seus comprimentos de ondas vão de 0,38  $\mu\text{m}$  a 0,78  $\mu\text{m}$ . O limite inferior da visão é o vermelho (VR) e o superior o violeta (VI).

Além do campo visível situam-se as radiações Ultravioleta (UV) que vão de 0,4 nm a 10 nm de comprimento de onda. A energia que transporta é suficiente para ionizar os átomos, favorecendo, portanto, algumas reações químicas. Os usos mais comuns dessas radiações dizem respeito à esterilização de ambientes, testes industriais não destrutivos e aplicações médicas. Ela é emitida quando os elétrons periféricos de átomos mudam de nível energético. Algumas substâncias quando bombardeadas com radiações ultravioleta armazenam por breve tempo a energia que recebem para depois devolvê-las sob forma de luz (fluorescência).

A radiação X ou Roentgen (RX) inclui comprimentos de onda de 10 nm a 10 pm. O Raio X é produzido por transições eletrônicas em regiões próximas aos núcleos dos átomos ou então pelo rápido frenamento dos elétrons livres. Possuem maior energia que os ultravioleta, conseguindo atravessar o corpo humano. Isto torna-os um eficiente auxiliar na medicina e na indústria, no estudo de blocos metálicos, etc.

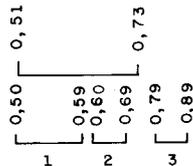
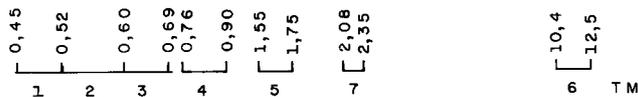
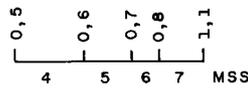
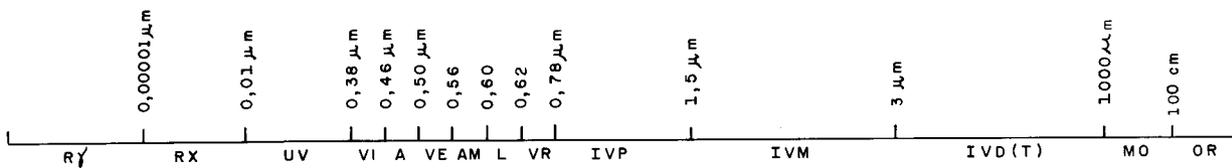
$1 \mu\text{m} = 10^{-3} \text{mm}$   
 $1 \text{Å} = 10^{-4} \mu$   
 $1 \text{nm} = 10^{-3} \mu\text{m}$   
 $1 \text{pm} = 10^{-6} \mu\text{m}$

$\text{Å} = \text{Ångstrom}$   
 $\mu\text{m} = \text{micrômetro}$   
 $\text{nm} = \text{nanômetro}$   
 $\text{pm} = \text{picômetro}$

### C O R R E L A Ç Ã O

BANDAS      MSS      -      R = 80 m  
 4      -      0,5      -      0,6  $\mu\text{m}$   
 5      -      0,6      -      0,7  $\mu\text{m}$   
 6      -      0,7      -      0,8  $\mu\text{m}$   
 7      -      0,8      -      1,1  $\mu\text{m}$

MSS	TM	SPOT	FAIXA
4	2	1	VERDE
5	3	2	VERM.
7	4	3	IV



SPOT MULTIESPECTRAL

SPOT MULTI-ESPECTRAL

BANDAS DO TM - R = 30 m

- 1 - 0,45 - 0,52  $\mu\text{m}$
- 2 - 0,52 - 0,60  $\mu\text{m}$
- 3 - 0,60 - 0,69  $\mu\text{m}$
- 4 - 0,76 - 0,90  $\mu\text{m}$
- 5 - 1,55 - 1,75  $\mu\text{m}$
- 6 - 10,4 - 12,5  $\mu\text{m}$
- 7 - 2,08 - 2,35  $\mu\text{m}$

BANDAS DO SPOT - R = 10 e 20 m

PANCROMÁTICO - 0,51 - 0,73  $\mu\text{m}$

MULTIESPECTRAL-1-050 - 0,59  $\mu\text{m}$

2-0,61-0,69  $\mu\text{m}$

3-0,79-0,89  $\mu\text{m}$

Figura 2 - Espectro Eletromagnético.

As radiações eletromagnéticas de comprimento de onda inferior a 10 pm recebem a denominação genérica de Raios Gama (R $\gamma$ ). De todo o espectro são os mais energéticos. São aplicados principalmente na pesquisa científica relacionada com o átomo e seu núcleo.

### 3 Bandas de Radar

O Radar de Visada Lateral (RVL) situa-se na faixa de microondas do espectro eletromagnético, variando entre comprimentos de onda de 100 cm e 1 mm e frequência de 0,3 a 50 GHz.

O RVL contém informações não disponíveis em outras regiões do espectro, como as faixas do visível e infravermelho, as quais são abrangidas pelas fotografias aéreas e imagens LANDSAT, SPOT, MOMS, KOSMOS e outras.

Uma carta código de frequência-comprimento de onda foi arbitrariamente selecionada, para fins militares, sendo hoje amplamente usada (Tabela 1).

Tabela 1

BANDAS DE RADAR		
BANDA	COMPRIMENTO DE ONDA (cm)	FREQÜÊNCIA (GHz)
Q	0,75 - 1,18	40,0 - 26,5
K	1,18 - 2,40	26,5 - 12,5
X	2,40 - 3,75	12,5 - 8
C	3,75 - 7,50	8,0 - 4,0
S	7,50 - 15	4,0 - 2,0
L	15,00 - 30	2,0 - 1,0
UHF	30,00 - 100	1,0 - 0,3
P	77,00 - 136	0,2 - 0,4

### 4 Sistemas de Radar

Apresenta-se a seguir uma descrição sumária dos diferentes sistemas de Radar existentes, em atividade ou desativados, os quais estão sintetizados na Tabela 2.

Tabela 2  
CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS RVL

ESPECIF. SENSOR	(cm) $\lambda$	BANDA	POLARIZ	SIST.	FREQÜÊNCIA MHz	RESOLUÇÃO (m)	CORREL. SINAL	ANG. DEP. Min e Max	LARG. (km) TERRENO
GEMS	3,12	X	HH	SAR	9600	16	Ótico	13° e 36°	37
WESTGH	2,0	K	HH	RAR	34860	10-22	Ótico	16° e 70° 21° e 59°	22
GRUMANN	3,0	X	HH	RAR	10000		Ótico	10° e 31°	24
STAR SYSTEM	3,0	X	HH	SAR	9600	6-6 12-6	Ótico e Digital		25 50
SIR - A	23,5	L	HH	SAR	1278	40 25 e 17-58	Ótico e Ótico	50° $\pm$ 3° 15° ou 60° (min)	50 35 ou 50
SIR - B	23,5								
SEASAT	23,5	L	HH	SAR	1275	25	Ótico e Digital	23° $\pm$ 3° (min)	100
JERS - I	5,7	C	HH	SAR		25	Ótico e Digital		75
RADARSAT	5,7	C	HH	SAR	5300	8 30 100	Ótico e Digital	20° - 49° 49° - 60°	55 100 500
ERS - I (ESA)	5,7	C	HH	LASS SAR	5300	33	Digital	23° $\pm$ 3° (min)	90

## 4.1 Orbitais

### – SEASAT

O SEASAT foi lançado em 1978, em órbita circular, na banda L, com uma inclinação de 108°, altitude de 795 km, com ciclo de 152 dias e resolução espacial de 25 m. Consiste de um radar altímetro, um radiômetro de microondas, um escaterômetro e um radar de abertura sintética.

Os propósitos do SEASAT dirigiram-se para o estudo dos oceanos e regiões costeiras, em oposição ao LANDSAT, embora imagens do interior do continente tenham sido obtidas. Os equipamentos distribuídos no satélite estavam assim discriminados:

- radar altímetro para obter a medida precisa da altitude do satélite acima da superfície do mar ( $\pm 10$  cm) para determinação do geóide e na definição da altura das ondas;
- o radiômetro para medir as temperaturas da superfície do oceano e velocidade do vento em superfície, assim como determinar a cobertura do gelo e suas características;
- o escaterômetro para determinar a velocidade local do vento e mapear campos de vento; e
- Radar de Abertura Sintética (SAR) para obter padrões de ondas dos oceanos, para estudar a interação água/terra em zonas litorâneas, além de pesquisas do gelo e seus aspectos dinâmicos.

Problemas em seu sistema elétrico provocaram a sua desativação em outubro de 1978, após 106 dias de operação profícua, em órbitas envolvendo exclusivamente o Hemisfério Norte.

### – SHUTTLE IMAGING RADAR (SIR)

O programa de radar norte-americano envolve uma série de experimentos de radares em espaçonaves. Tal programa foi iniciado com a segunda missão STS-2 lançado em 12 de novembro de 1981. Consistirá do SIR-A, SIR-B, SIR-C e SIR-D, dos quais os três primeiros já foram lançados.

O SIR-A consiste de um radar de abertura sintética, banda L e polarização horizontal. Sua órbita é aproximadamente circular, com inclinação de 38°.

O SIR-B, cujo lançamento ocorreu em outubro de 1984, é equipado com Radar de Abertura Sintética (SAR), com polarização horizontal. Os aspectos novos do SIR-B são o uso da variação do ângulo de visada com variação de 15° e 60°. Tal incremento significa que um mesmo objeto será visto sob a ação de vários ângulos de incidência, o que implica obtenção de medidas radargramétricas e estereoscopia de radar.

O SIR-C lançado em agosto de 1989, possui radar multiespectral, em virtude das múltiplas frequências, ou seja, bandas C e L, assim como polarizações circular, paralela e cruzada. Deste modo, tanto o SIR-B como o SIR-C possuem combinação de canais, possibilitando a obtenção de produtos falsa cor. Ademais, os sistemas de radar da série SIR são oferecidos em formas digitais, o que facilita seu uso em computadores.

### – PROGRAMA EUROPEU DE RADAR (ESA)

A European Spacial Agency - ESA - lançou, em março de 1991, seu primeiro satélite de observação da Terra, cuja recepção e processamento deu-se em junho de 1991 pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. Será designado de ERS-1, à semelhança do SEASAT, objetivará o estudo de zonas costeiras e processos globais do oceano. O equipamento disponível em seu interior, segundo ESA (1989), consiste de:

- instrumentação ativa na região das microondas (AMI), banda C, com 5,3 GHz, incluindo um Radar de Abertura Sintética (SAR), um dispersômetro para ventos e outro para ondas. Estes dois últimos instrumentos foram criados para observar o vento na superfície do mar e as estruturas das ondas oceânicas, junto com imagens de alta resolução da superfície terrestre e em particular das regiões polares e zonas costeiras; e
- um altímetro tipo Radar (RA), na banda K, com 13,7 GHz, cujas medidas permitirão definir a altitude do satélite, altura significativa das ondas, velocidade dos ventos na superfície oceânica e parâmetros relativos ao gelo.

Instrumentos adicionais no terreno contribuirão com os sensores principais para melhor interpretar os processos oceanográficos:

- um radiômetro de varredura (ATSR), sensor na faixa do infravermelho, para medir a temperatura da superfície do mar, além da temperatura acima das nuvens e a cobertura das nuvens;
- um equipamento de microondas para determinar com precisão a distância (PRARE), cujo objetivo é melhorar os dados do altímetro; e
- retroprojetores passivos a *LASER* para permitir uma avaliação dos instrumentos da Terra.

## — JAPAN EARTH RESOURCES SATÉLITE (JERS)

A NASDA do Japão lançou em 11 de fevereiro de 1992 o JERS-1 com um sensor ótico (OPS) e um radar SAR-L. O sistema SAR possui um ângulo de visada mais baixo que o ERS-1 e SEASAT.

## — RADARSAT

Em 12 de setembro de 1989 foi anunciado em Ottawa que o RADARSAT, Radar de Abertura Sintética do Canadá, foi totalmente aprovado. O governo canadense procederá a construção e iniciará em meados de 1995 a operação da missão.

A “crise do petróleo” na primeira metade da década de 70 provocou a exaustiva pesquisa da região ártica, no entanto as constantes nuvens, mar de gelo e necessidade de monitorar rotas de navios fizeram com que o SAR fosse o único sensor de tecnologia aceitável para as condições ambientais da região acima referida. Além do mais, os dados do SAR têm também importantes aplicações no mapeamento de estruturas geológicas em superfície, solos e monitoramento de florestas em regiões constantemente nubladas (Langham et al., 1990).

O Projeto RADARSAT tem como parceiros as agências US (NASA e NOAA), os governos de províncias canadenses e o setor privado.

A órbita será circular, síncrona com o Sol, altitude de 792 km, inclinação de 98°, com período de 100,7 min, ciclo de 24 dias, subciclo de 7 dias, e cortando o Equador às 6 horas da manhã.

O SAR opera com 5,3 GHz, na banda C, e tem a possibilidade de transmitir três pulsos e numerosas seleções de feixes para produzir imagens com várias larguras e resoluções. Estereoscopia pode ser obtida, em virtude dos diferentes ângulos de incidência (Tabela 3).

Tabela 3

MODO DE SAR (RADARSAT)			
MODO	LARGURA	RESOLUÇÃO	INCIDÊNCIA
Standard	100 km	28 m x 30 m	20°-49°
Alta Resolução	55 km	10 m x 9 m	20°-49°
Experimental	100 km	28 m x 30 m	49°-59°
Varredura	500 km	100 m x 100 m	20°-49°

## 4.2 Equipados em Aeronaves

Os principais sistemas de Radar transportados em aeronaves são: GRUMMAN, WESTINGHOUSE, GEMS e INTERA. Uma comparação entre os diferentes sistemas RVL é apresentada na Tabela 2. No entanto, far-se-á uma abordagem apenas dos sistemas GEMS e INTERA. O primeiro pelo fato de estar disponível em todo o território brasileiro, como também considerando que o presente trabalho tem como suporte este sistema, inclusive com apresentação de exemplos sob a forma de estampas. O outro assume importância em vista de ser mais sofisticado que o primeiro, ser digital e com amplas possibilidades de levantamentos em determinadas regiões brasileiras.

### — GEMS

O território brasileiro foi coberto por imagens radargramétricas em dois períodos: 1971/1972 e 1975/1976. O primeiro envolveu praticamente a Amazônia Legal Brasileira e parte leste dos Estados da Bahia e Minas Gerais e norte do Espírito Santo. O segundo cobriu o restante do Brasil. Tais levantamentos serviram de base para o então Projeto RADAM (RADAMBRASIL) no seu trabalho profícuo de levantamento de recursos naturais do território brasileiro. Com a extinção do Projeto RADAMBRASIL, em 4 de março de 1986, todo o acervo técnico-científico desse importante projeto foi incorporado à Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE -, inclusive suas equipes técnica e administrativa.

As principais características desse sistema são:

- Nome: Sistema GEMS-1000
- Aeronave: Caravelle
- Velocidade: 700-800 km/h
- Altura: 11 000 m
- Linhas de vô: N-S (principal) e E-O (secundária)
- Espaçamento entre as Linhas: 15
- Recobrimento: 10%
- Tipo de Antena: Abertura Sintética
- Banda: X
- Comprimento de Onda: 3,12 cm
- Frequência: 9,6 GHz
- Potência: 100 watts
- *Dynamic Range*: 20 a 28 db
- Polarização: HH
- Resolução Espacial: 16 m
- Ângulos de Depressão e Varredura: 13° e 45°
- Escala Original: 1:400 000.

## - INTERA

Atenção especial deve ser reservada ao Sistema STAR da INTERA, uma vez que opera na mesma banda da GEMS, no entanto com resolução espacial superior. Ademais, pode ser armazenado em fitas compatíveis com computador (CCT).

O processamento digital permite variar de escala, desde 1:1 000 000 até 1:50 000, sem distorção, além de eliminar as emendas do mosaico. Por sua vez, a superposição computadorizada das faixas minimiza as sombras em regiões de forte relevo. Tais fatores são de grande importância na interpretação radargeológica, como se verá adiante.

### Especificações do STAR-1:

- Comprimento de onda: 3 cm
- Banda: X
- Polarização: HH
- Ângulo de Visada: esquerda ou direita
- Altura de voo: 5 000-10 000 m
- Alcance no Terreno: 23 a 46 km
- Resolução: 6 e 12 m
- Frequência: 9,6 GHz

## 5 Radar de Visada Lateral

O Radar de Visada Lateral (RVL) constitui um sensor ativo, aerotransportado, situando-se na faixa das microondas do Espectro Eletromagnético (EMR). Denomina-se de Visada Lateral pelo fato de cobrir uma faixa contínua ao lado da aeronave, ao invés de diretamente abaixo como acontece com as fotografias aéreas verticais.

Pelo fato de ser um sensor ativo, a antena posiciona-se com seu eixo longitudinal na parte inferior do bojo da aeronave, emitindo um feixe em forma de leque cuja varredura é que edifica a imagem. Uma série de pequenos pulsos eletromagnéticos são emitidos e os sinais da reflexão de retorno são registrados. Dois parâmetros são de suma importância: distância em relação à antena e à intensidade da energia refletida. Pela conjugação desses dois parâmetros é que será produzida a imagem de Radar através da composição dos pontos de retorno (Figura 3).

Se o transmissor estivesse continuamente operando, seria impossível correlacionar uma transmissão de energia particular para uma reflexão terrena. Por essa razão, pulsações de energia são enviadas intermitentemente, de modo que a próxima pulsação será somente emitida após todas as reflexões de uma pulsação anterior retornarem para a antena, que deste modo já está apta para receber.

O posicionamento de um determinado alvo na imagem irá depender de sua distância em relação à antena e seu tom dependerá da reflexão de retorno. A velocidade do filme é sincrônica com a velocidade da aeronave ou espaçonave.

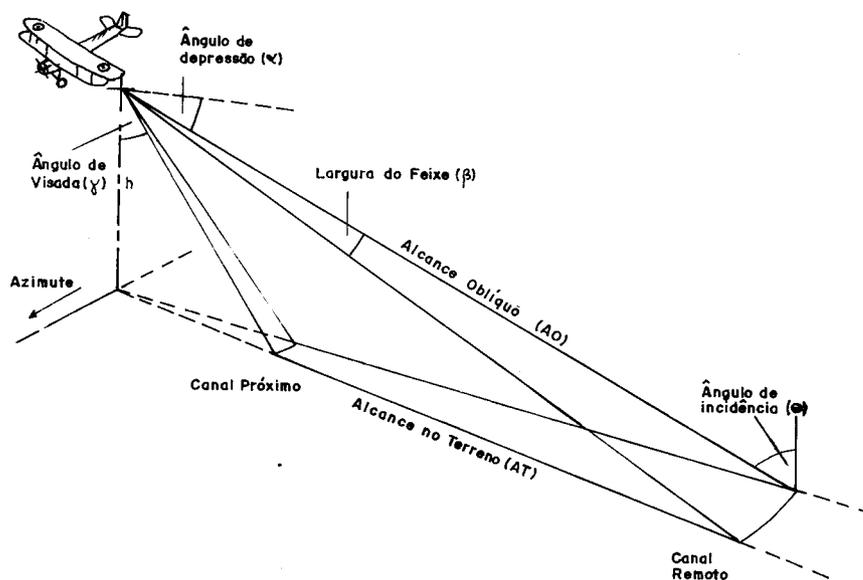


Figura 3 - Parâmetros do Sistema RVL (Mod. de Drury, 1986).

Na Figura 4 observa-se a relação tempo versus amplitude do sinal no que tange aos alvos casa e árvore. Saliente-se que a árvore situa-se mais próxima da antena; terá, portanto, um tempo menor de retorno (13), no entanto com menor amplitude que a casa (18).

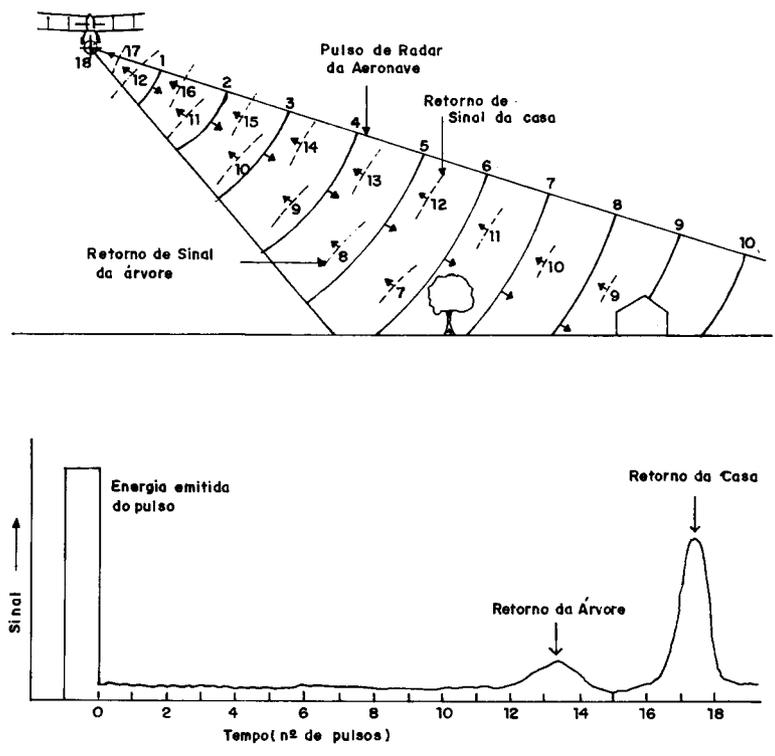


Figura 4 - Tempo e Amplitude de Sinal da Reflexão no Sistema RVL ( Drury, 1986 ).

Toma-se necessária a definição de dois parâmetros que serão abordados continuamente: ângulo de incidência ( $\theta$ ) e ângulo de depressão ( $\alpha$ ). Ângulo de incidência é o ângulo formado pelo raio incidente de Radar e a perpendicular com a superfície incidente, sendo igual ao ângulo de reflexão (Lei de Snell). Por sua vez, o ângulo formado entre a linha horizontal que passa pela antena e o raio incidente denomina-se ângulo de depressão (Figura 3).

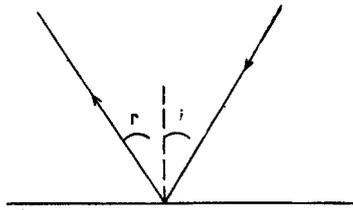
A tonalidade relaciona-se fundamentalmente com o tipo de retorno de sinal, seja ele do tipo especular difuso, frontal agudo, frontal obtuso, *grazing* e refletor de canto (Figura 5).

Na Figura 5 exemplifica-se as diversas situações que se pode esperar, de acordo com o modelado do terreno. O retorno do sinal emitido será nulo na reflexão especular, forte no refletor de canto e frontal obtusa, com valores intermediários na frontal aguda, difuso e *grazing*.

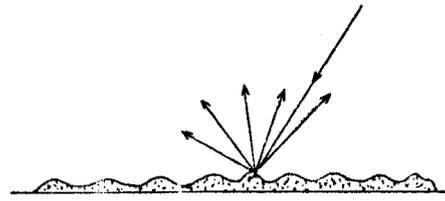
Na Estampa 1 pode-se observar que devido à direção da linha de vôo (LV) e sentido de visada para oeste (O), as sombras (S) sempre se dispõem para o mesmo lado. Identifica-se a presença de uma marcante quebra de relevo (QR), assim como zonas planas (P) e dissecadas (DI). No quadrante SE da estampa em lide, destaca-se grande incidência de antropismo, dominando a tonalidade cinza e revelando a presença de pequenos polígonos de reflexão especular (RE). No topo do platô é marcante a presença de refletor de canto (RC), em vista da exposição de rochas carbonáticas, em relevo cárstico (*lapiaz*).

Vê-se na Figura 6 que a distância entre a antena e o objeto que está sendo imageado denomina-se de Alcance Oblíquo (*Slant Range*) e a faixa do terreno coberta pela varredura é codinominada de Alcance no Terreno (*Ground Range*). A porção média deste constitui o limite entre o Canal Próximo (*Near Range*) e o Canal Remoto (*Far Range*). O primeiro com ângulos de depressão maiores e conseqüente menor comprimento de sombras, em virtude de sua maior proximidade da antena. O inverso correndo com o outro canal.

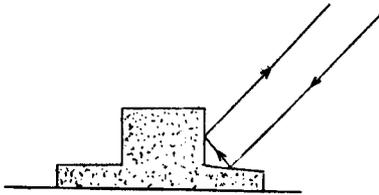
O retorno do pulso do radar pode ser representado em função da distância do Alcance Oblíquo (AO) e pode ser projetado em planta com conseqüente distorção das verdadeiras distâncias do terreno. A apresentação também pode ser feita pelo Alcance do Terreno (AT), empregando a apropriada correção hiperbólica para a altura da aeronave, e usando a suposição que o terreno ao lado da aeronave é plano. Comercialmente, sistemas disponíveis fazem esta transformação e utilizam a apresentação de AT. Nas Figuras 7 e 8 mostra-se uma comparação entre apresentações em AT e AO e suas inter-relações.



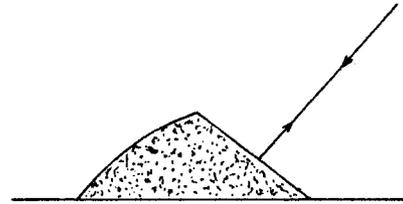
1 - ESPECULAR



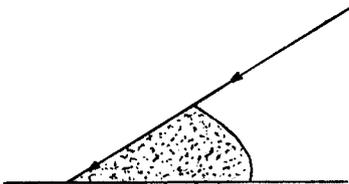
2 - DIFUSA



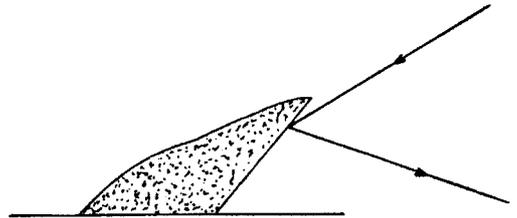
3 - REFLETOR DE CANTO



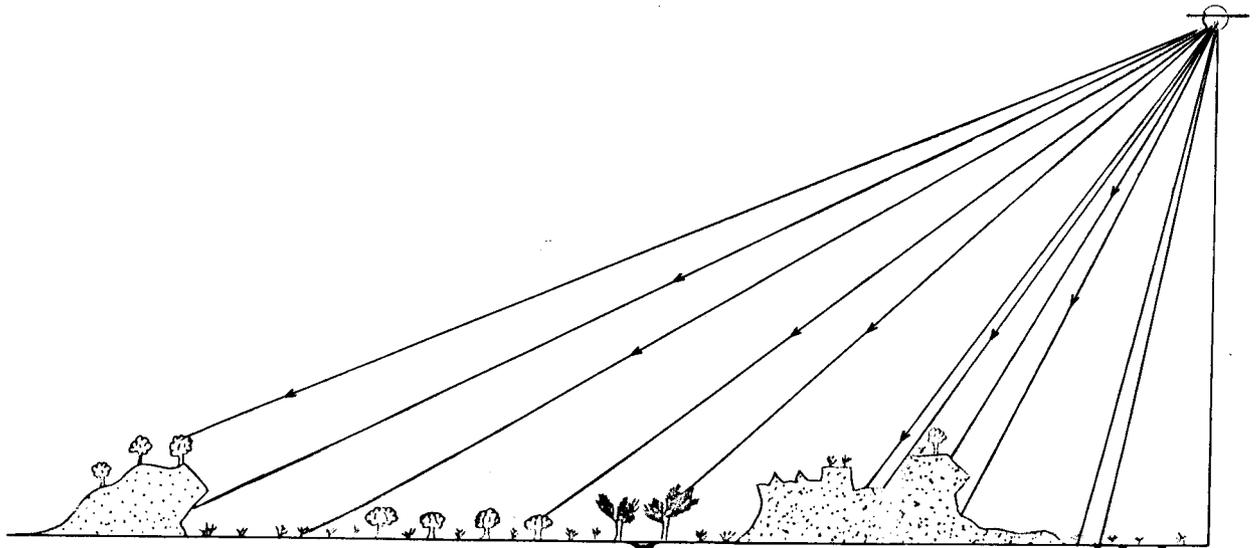
4 - FRONTAL OBTUSA



5 - GRAZING

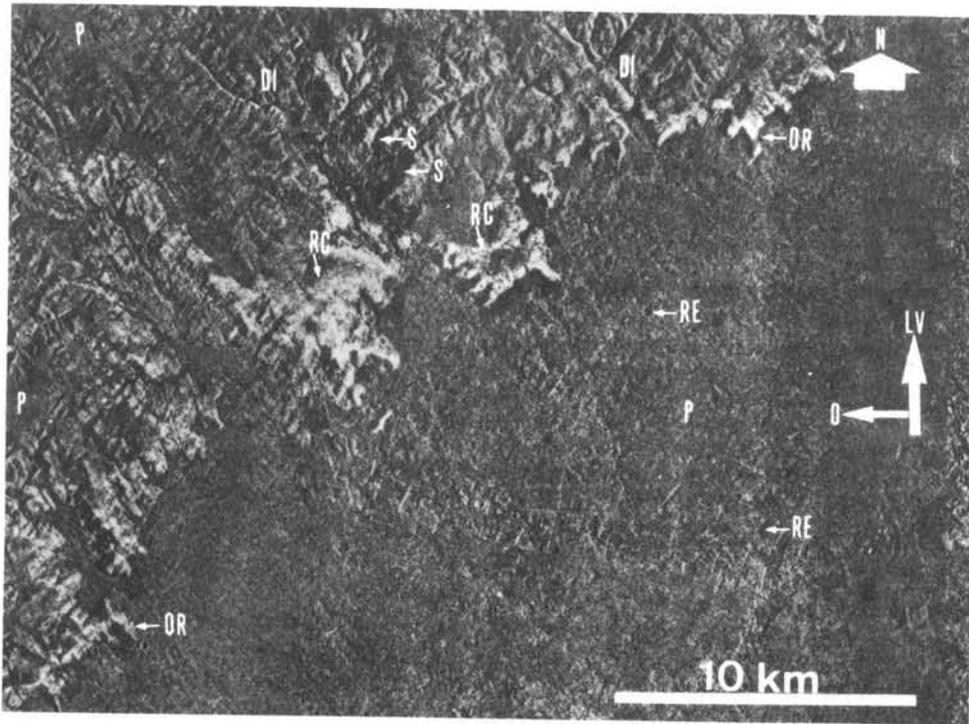


6 - FRONTAL AGUDA



7 - DIVERSOS

Figura 5 - Tipos de Reflexão.



Estampa 1 - Refletor de Canto. Região do Além São Francisco (Bahia). Imagem RVL - GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD. 23 - X - C. LV = linha de vôo; O = Oeste; OR = quebra de relevo; P = terreno plano; DI = terreno dissecado; RE = reflexão especular; RC = refletor de canto. Vide explicações no texto.

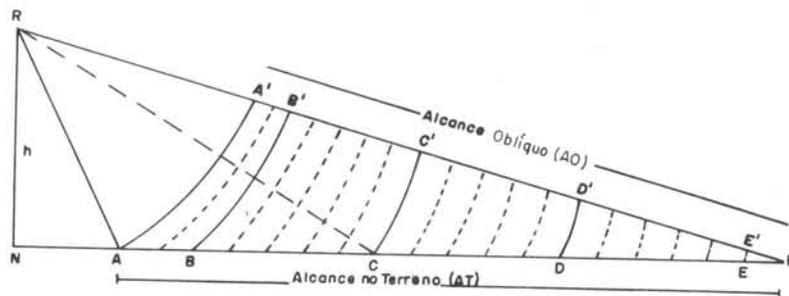


Figura 6 - Relação entre AO e AT (Mekel, 1972).

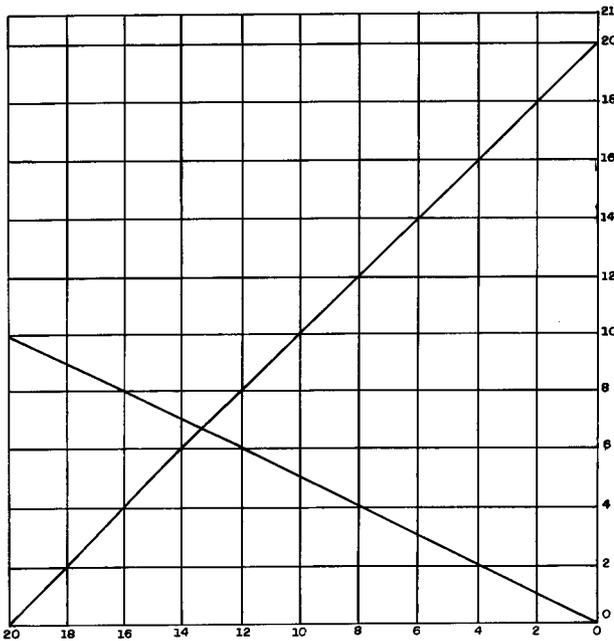


Figura 7 - Rede Quadrada. Apresentação do Alcance no Terreno (AT) (Mekel, 1972).

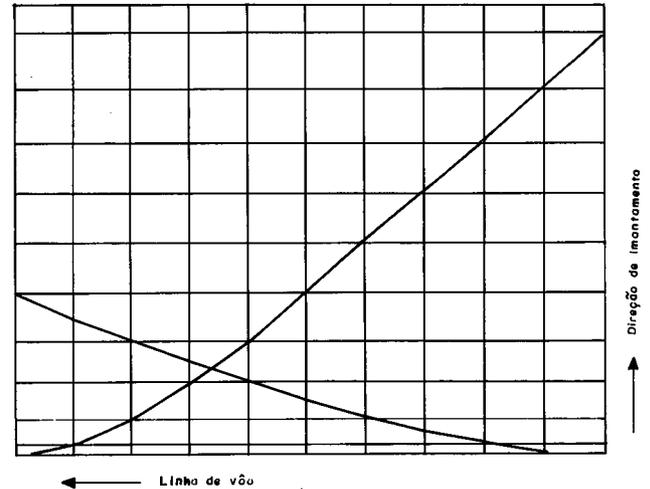


Figura 8 - Rede Quadrada. Distorção pela Apresentação do Alcance Oblíquo (AO) (Mekel, 1972).

## 5.1 Sistemas de Abertura Real (RAR) e Sintética (SAR)

Ao imagear o terreno ao lado da aeronave as linhas de varredura divergem, sob a forma de um leque, com a distância (Figura 3), resultando na variação da resolução em diferentes porções da imagem. Em outras palavras, a resolução espacial do Canal Próximo (CP) será distinta daquela apresentada no Canal Remoto (CR).

Entende-se por resolução espacial a capacidade que tem o sensor em discriminar dois objetos. Assim, ao se especificar que a resolução espacial é de 16 m, significa dizer que somente objetos que tiverem uma distância maior do que 16 m serão individualizados.

A resolução longitudinal, paralela à linha de vôo, é alcançada pelo uso de grandes antenas e pequenos comprimentos de onda. Para abertura real a largura do feixe (radianos) em azimute é dada pela razão comprimento de onda e diâmetro da antena.

A resolução longitudinal (RL) é dada pela equação:

$$RL = \lambda / Da \times AO \quad (1)$$

$\lambda$  = comprimento de onda  
 $Da$  = diâmetro da antena  
 $AO$  = alcance oblíquo

Como conseqüência, são necessárias grandes antenas para se conseguir alta resolução. Como pode ser visto na Figura 9, pela forma em leque do feixe a resolução do CP será melhor do que no CR. Ou seja, a resolução será melhor em a do que em b.

A resolução transversal (RT), perpendicular à linha de vôo, é proporcional ao comprimento do pulso da microonda. Por exemplo, um período de pulso de 10-7 s produzirá uma resolução de 15 m (Figura 10). A RT pode ser melhorada com o uso de pequenos pulsos, como pode ser observado na equação abaixo:

$$RT = C \times T / 2 \cos \alpha \quad (2)$$

$C$  = velocidade da luz  
 $T$  = comprimento do pulso  
 $\alpha$  = ângulo de depressão

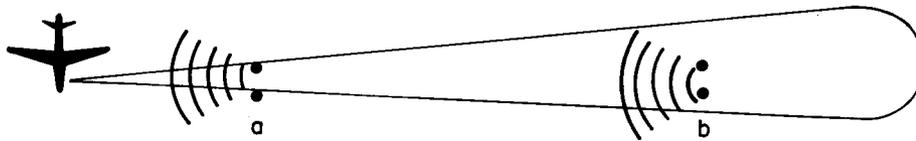


Figura 9 - Resolução Longitudinal (Jensen et al., 1977).

Na Figura 10 pode-se notar que a RT não foi suficiente para discriminar os dois últimos morrotes da direita.

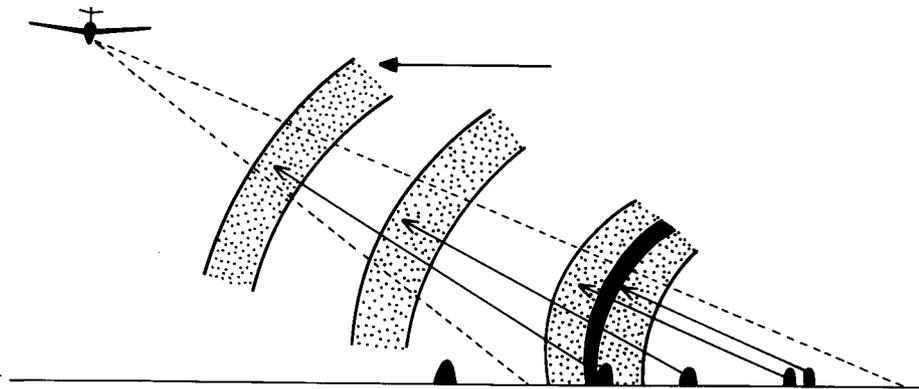


Figura 10 - Resolução Transversal (Jensen et al., 1977).

No Sistema de Abertura Real (RAR), uma chave eletrônica liga a antena ora ao receptor ora ao transmissor, permitindo que após a transmissão de um sinal o sistema fique preparado para receber os sinais de retorno. No tubo de raios catódicos (CRT) a imagem é construída após a recepção de um conjunto de sinais e é montada uma imagem linear semelhante ao gráfico tempo *versus* intensidade. Essa imagem linear é passada através de lentes para impressionar um filme fotográfico (Figura 11).

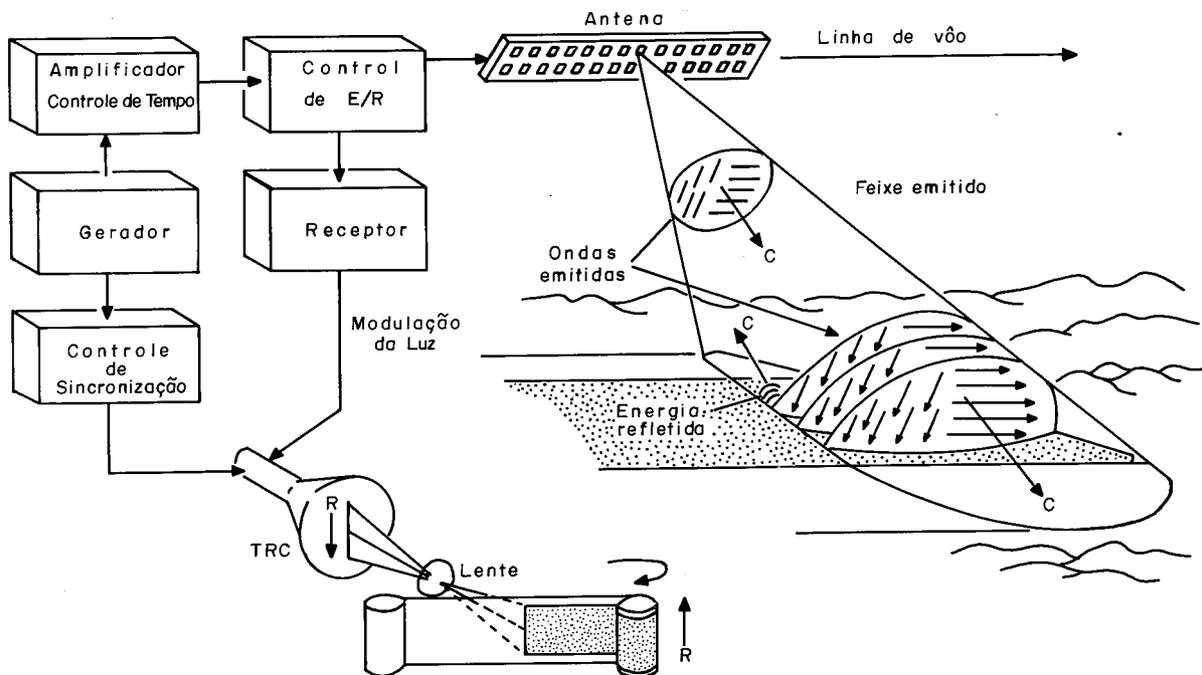


Figura 11 - Princípio do Sistema RAR de Abertura Real (RAR) (Routin, 1975).

No sistema de abertura sintética, uma chave eletrônica também controla a emissão e recepção de sinais de radar. O STALO (*STable Local Oscillator*) funciona tanto como transmissor como armazenador, a fim de comparar as fases. Devido à largura do feixe, um ponto do terreno é investigado várias vezes, um em cada pulso transmitido. Como esse ponto move-se relativamente ao avião, haverá uma modificação da frequência do sinal de retorno causado pelo efeito *Doppler*. Daí o porquê se a cópia do sinal transmitido ser guardada e posteriormente comparada com o sinal de retorno. O *Data Film* registra a diferença de fase entre os dois sinais, à semelhança de um holograma unidimensional, pois que trata apenas dos dados longitudinais (Figura 12).

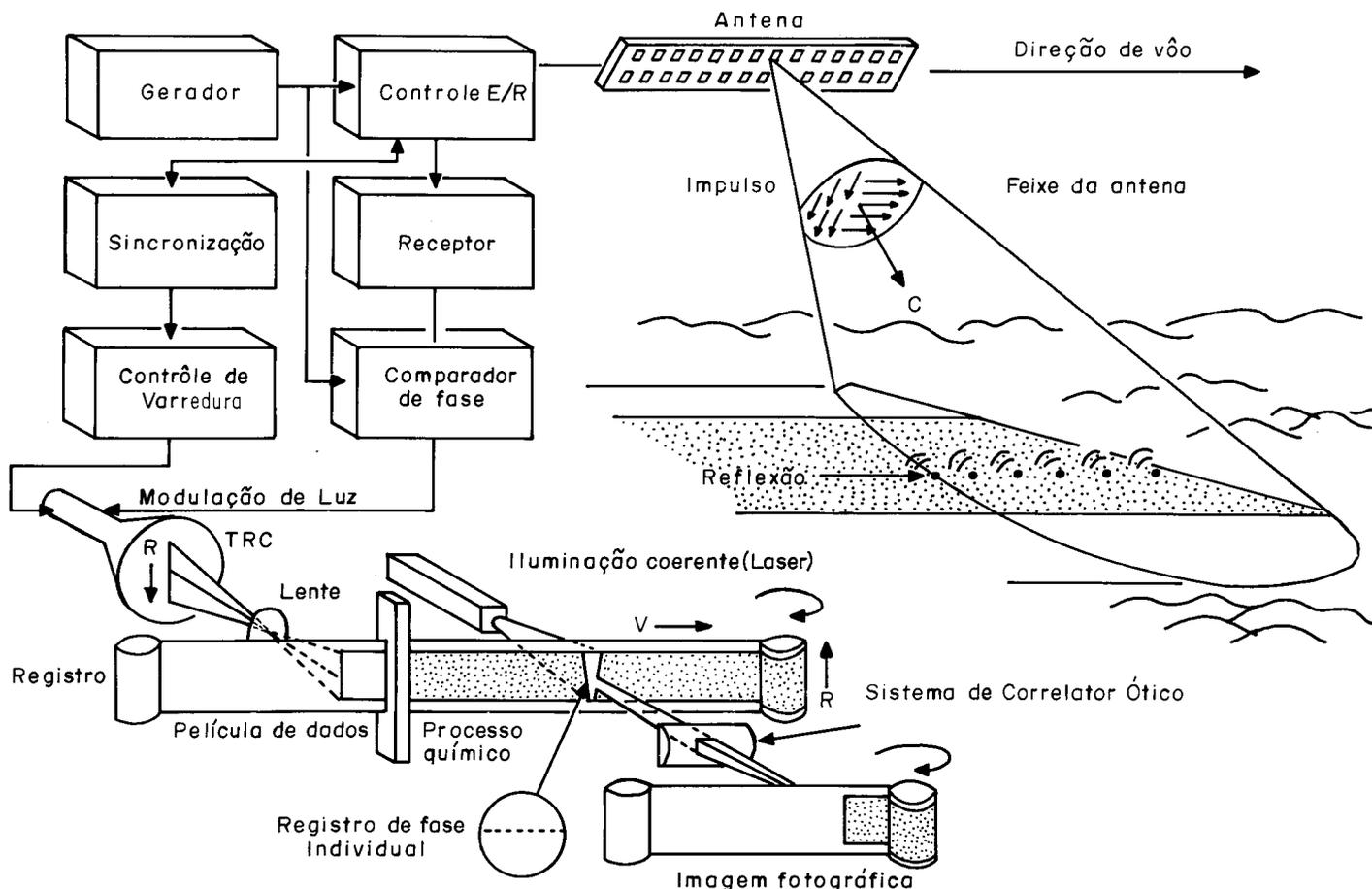


Figura 12 - Princípio do Sistema RVL de Abertura Sintética (SAR) (Routin, 1975).

Em resumo, o SAR mostra melhor fidelidade geométrica, ao passo que o RAR exibe melhor gama dinâmica.

A largura angular do feixe da antena é inversamente proporcional ao comprimento da antena, deste modo, para uma melhor resolução torna-se necessária uma antena de grande comprimento. Entretanto, uma antena relativamente curta (2 m) se comporta eletronicamente como se tivesse centenas de metros, produzindo feixe sintetizado, com resolução idêntica em todos os seus pontos, denominada de Radar de Abertura Sintética (SAR), em contraposição ao de Abertura Real (RAR) (Figura 13).

Uma interessante analogia existe entre um sistema de radar de abertura sintética e um sistema holográfico de luz visível. Holografia é o processo de imageamento no qual as ondas de luz de uma fonte de luz coerente, tal como o *LASER*, ilumina um objeto ou uma cena. Cada ponto sobre o objeto reflete a luz, as ondas refletidas interferem com um feixe de ondas de luz de referência e a resultante multitude de interferência de padrões circulares é registrada sobre um filme fotográfico de grã-fina. Quando o filme desenvolvido é iluminado por um feixe de luz coerente, a multitude de padrões de interferência reconstrói o conjunto original de ondas refletidas, as quais formam uma imagem tridimensional da cena original, tendo um surpreendente grau de detalhe e fidelidade. Radar de Abertura Sintética é um processo de imageamento, no qual microondas coerentes iluminam o terreno, para o lado do aeroplano. A antena detecta as ondas de radar de cada ponto sobre o terreno.

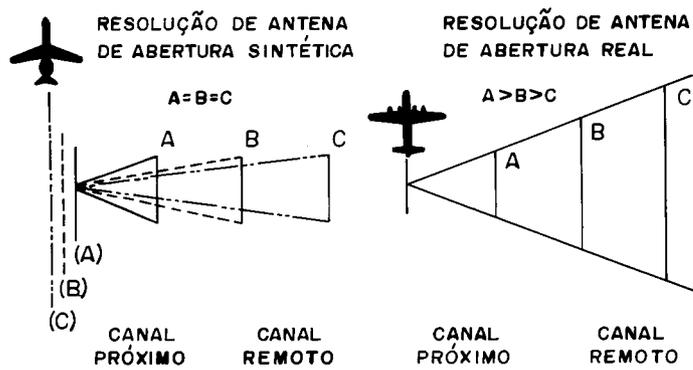


Figura 13 - Comparação entre Resoluções de Antenas de Abertura Sintética (SAR) e Real (RAR) (Aeroservice, 1978).

No equipamento eletrônico, a bordo da aeronave sinais gerados no receptor, pela fila de pulsos das microondas refletidos, são combinados com o conjunto dos sinais de referência para criar padrões de interferência. Linha por linha de cada padrão de referência de interferência é exibida sobre um CRT e fotografada sobre uma faixa móvel de *Data Film*, cuja velocidade é proporcional à da aeronave. O *Data Film* pode ser considerado como um *radar holograma* (Jensen et al., 1977).

Como pode ser observado na Figura 14a uma longa antena pode ser sintetizada por um pequena antena tomando-se como base o movimento da aeronave (efeito *Doppler*). Uma antena real acoplada no seu bojo envia para o terreno uma série de pulsos em intervalos regulares. Cada pulso consiste em um conjunto de microondas polarizadas. Quando um objeto situa-se no raio de ação do feixe emitido pela antena, ele reflete a porção do pulso em direção à antena (Figura 14b). Em alguns pontos do caminho da aeronave, o objeto recebe um número integral de comprimentos de onda e em outros não. A aeronave começa a se aproximar do objeto (Figura 14c) até atingir uma distância mínima (Figura 14d), para pos-

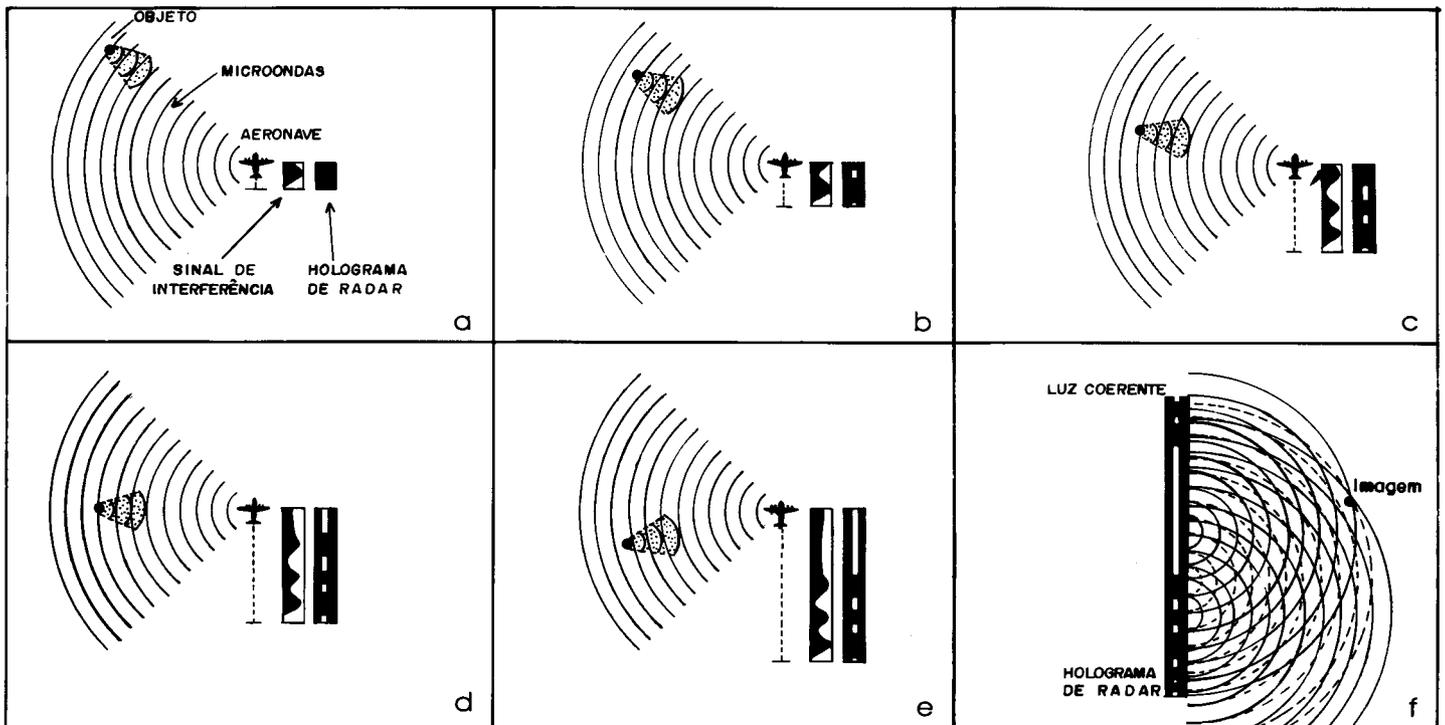


Figura 14 a, b, c, d, e, f - Princípios da Formação de Imagens em Antena de Abertura Sintética (Jensen et al., 1977).

teriormente se afastar (Figura 14c). Deste modo, o comprimento eletrônico da antena será considerado como aquele que inicialmente recebe sinais do objeto até o último pulso emitido pelo mesmo. As séries de ondas refletidas concernentes às diferentes distâncias são combinadas eletronicamente com o comprimento da onda de referência, causando sinais de interferências construtivos e destrutivos ("speckle"). O sinal de interferência emerge com uma voltagem, cujo brilho representa a intensidade do sinal na tela de um tubo de raios catódicos (CRT). O movimento do *spot* marca uma série de traços claros e escuros de comprimento desigual, o qual é registrado em um filme, que se move a uma velocidade proporcional à da aeronave. Representa-se pelo *Data Film*, à semelhança de um holograma de radar. Quando tal holograma é iluminado por um raio *LASER* é formada a imagem do objeto (Figura 14f) (Jensen et al., op.cit.).

## 5.2 Geometria de Radar

Para que o intérprete possa entender melhor os produtos radargráficos, torna-se mister que conheça os princípios que regem os parâmetros geométricos das imagens de Radar. Dentre esses merecem destaque: sombra de Radar, encurtamento de Radar, fantasma de Radar (*Radar Layover*) e paralaxe de Radar (Browden & Pruit, 1975).

### 5.2.1 Sombra de Radar

A sombra de Radar constitui uma das principais características das imagens de Radar. A mesma é de grande relevância para que o intérprete possa ter a noção de terceira dimensão na análise monoscópica da imagem, o que de certa forma é carente nas imagens de satélite nas faixas do visível e infravermelho (LANDSAT, SPOT, KOSMOS, MOMS e outras).

Em vista do Radar de Visada Lateral (RVL) ser um sensor ativo, pode-se planejar as suas linhas de vôo de maneira que se tenha a sombra sempre para o mesmo lado, detalhe de grande importância no mapeamento de grandes tratos.

As proposições colocadas a seguir são válidas somente quando a direção da linha de crista for perpendicular à frente da onda do Radar. Observa-se na Figura 15 que a sombra de Radar só será produzida em uma feição do terreno se o ângulo de depressão ( $\beta$ ) for menor que o ângulo da pendente ( $\alpha$ ) não voltada para a antena de Radar. Devido a tal relação geométrica ocorrerão situações em que não haverá sombra, até o caso particular em que o ângulo de depressão for igual ao da pendente não voltada para a antena (*grazing*), fato que ocorre sempre no Canal Próximo (CP). A partir de que a sombra sempre se apresentará com maior comprimento. Por conseguinte, o ressalto das feições geomórficas dar-se-á amiúde no Canal Remoto (CR), em especial em situações em que o posicionamento da feição for paralela à linha de vôo (perpendicular à linha de varredura). As zonas de relevo mais fortes terão sombras menores no CP, no entanto os problemas de distorção serão sempre maiores, como será visto adiante (Figuras 16a, b, c).

Na Estampa 2, Serra da Providência (SC.20-Z-A), Estado de Rondônia, pode-se destacar o contato entre os Canais Próximo (CP) e Remoto (CR), assim como se observa que as linhas de crista dispõem-se quase perpendicularmente à frente da onda do Radar, deste modo sendo válidas as proposições aqui colocadas, consoantes a Figura 15. As sombras dispõem-se para oeste, havendo situações em que a mesma inexistente, devido à coincidência do ângulo de depressão e do ângulo da pendente não voltada para a antena (G), constituindo o caso de *grazing*. Sombras em S.

A Estampa 3 abarca a região da Serra do Imeri, Pico da Neblina, fronteira Brasil-Venezuela, Estado do Amazonas, NA.19-Z-D, evidenciando grandes zonas de sombra (S) no Canal Remoto (CR), ao passo que no Canal Próximo (CP) as mesmas são restritas.

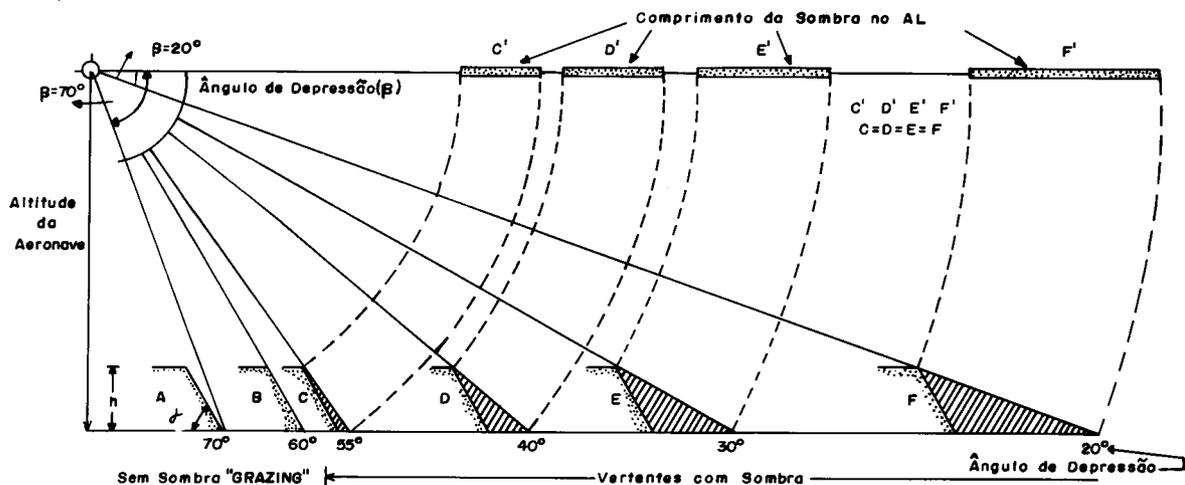


Figura 15 - Relação entre o Ângulo de Depressão ( $\beta$ ) e Comprimento da Sombra de Radar (Browden & Pruit, 1975).

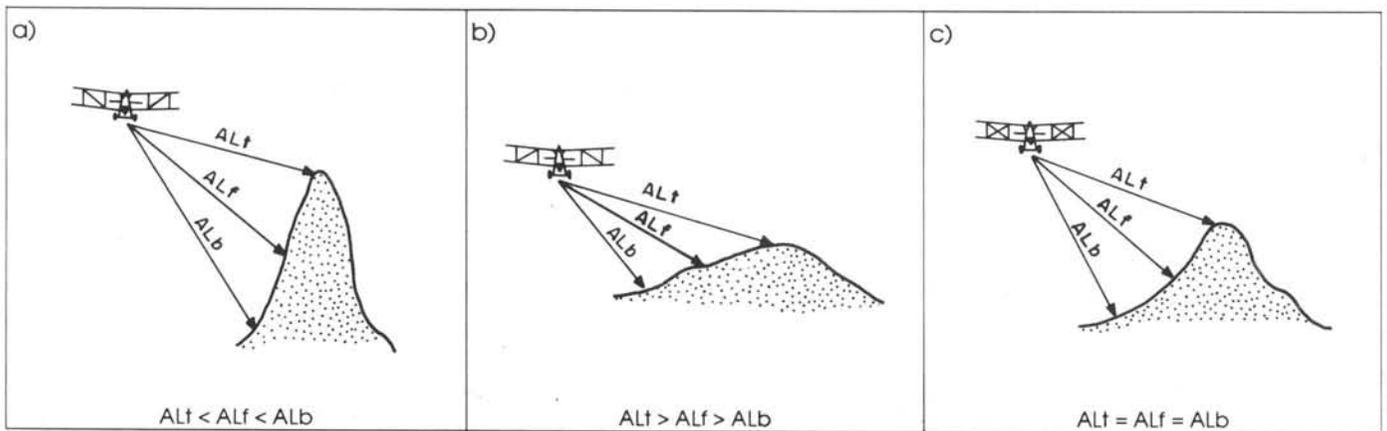
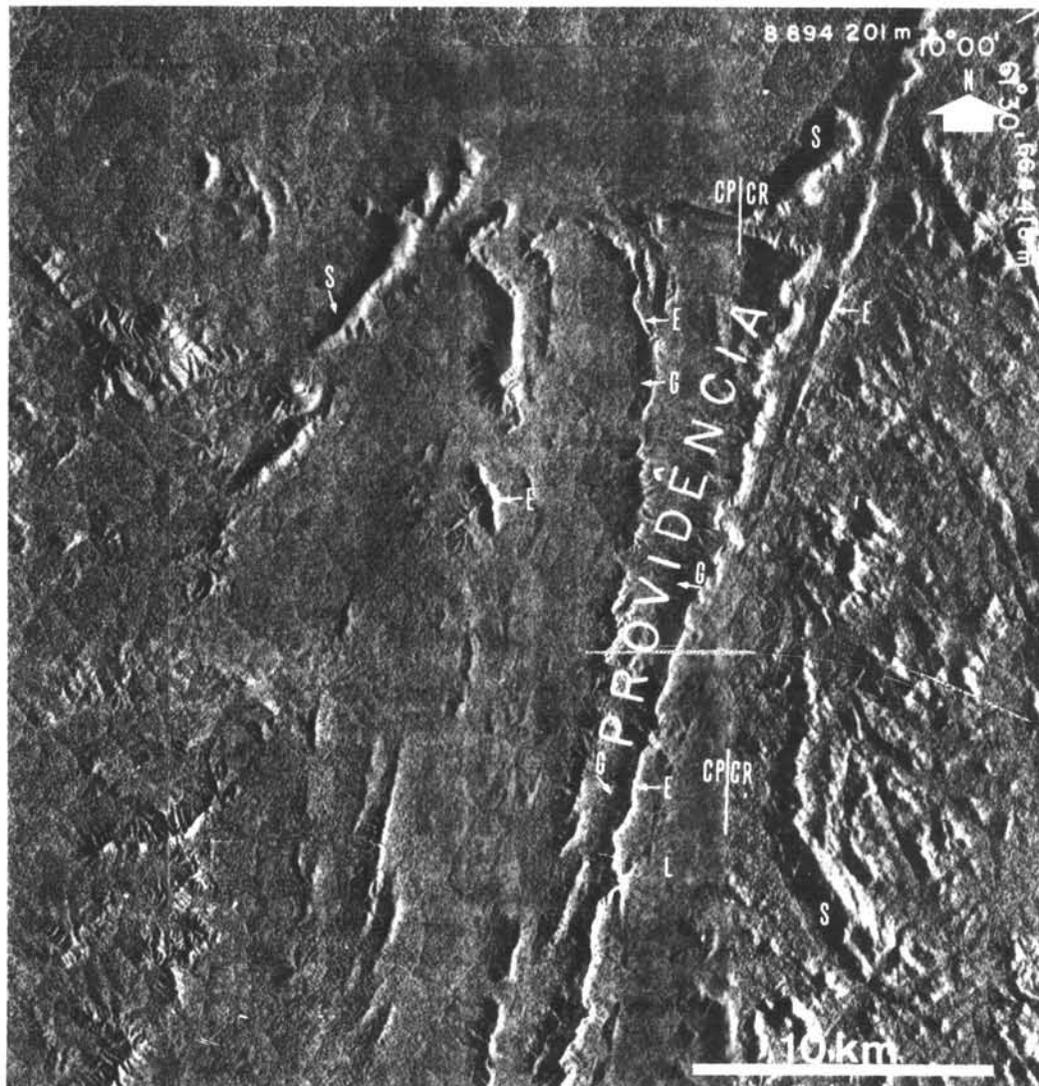


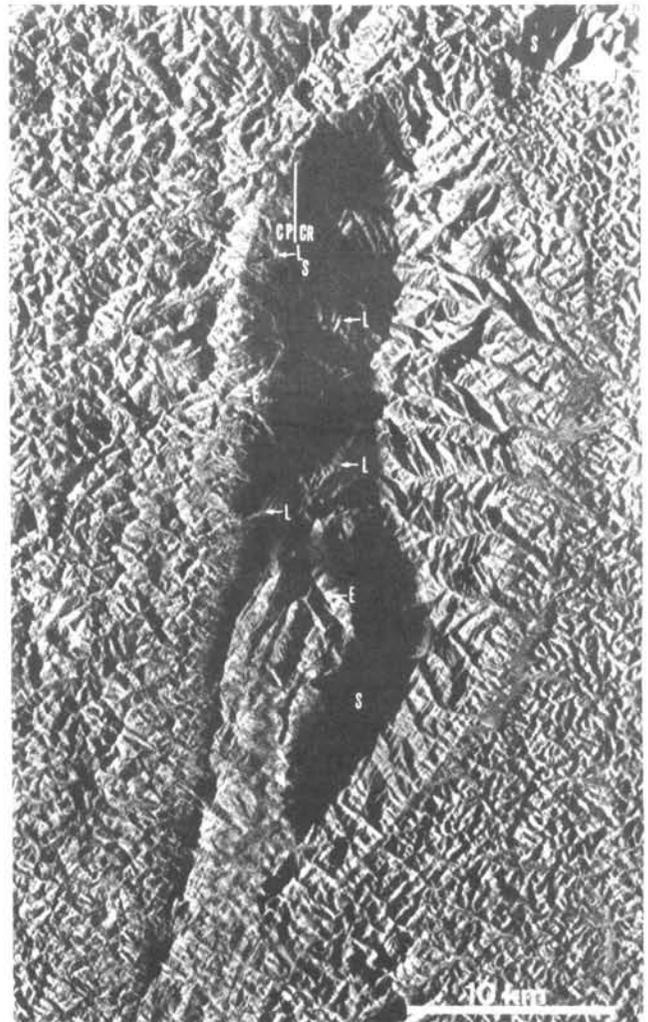
Figura 16 - a) Layover, b) Normal, c) Encurtamento (Drury, 1986).



Estampa 2 - Sombra de Radar, Encurtamento de Radar e *Grazing*. Região da Serra da Providência (Rondônia). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SC.20-Z-A. CP = canal próximo; CR = canal remoto; G = *grazing*; S = sombra; E = encurtamento de pendentes. Vide explicações no texto.



Estampa 3 - Sombra de Radar  
 Encurtamento de Radar. Serra do Imeri (Pico da Neblina).  
 Limite Brasil (Amazonas/Venezuela). Imagem RVL-GEMS,  
 Banda X, 1971/1972. Folha NA.19-Z-D. CR = canal remoto;  
 CP = canal próximo; S = sombra; E = encurtamento  
 de pente. Vide explicações no texto.



Estampa 4 - Sombra de Radar, Encurtamento de  
 Radar e Layover (?). Região da Serra do Caparaó  
 (Minas Gerais/Espírito Santo). Imagem RVL-GEMS,  
 Banda X, 1975/1976. Folha SF. 24 -V-A.  
 CP = canal próximo; CR = canal remoto; S = sombra;  
 L = pseudolayer. Vide explicações no texto.

A Estampa 4 tem em sua porção central a Serra do Caparaó (MG-ES), SF. 24-V-A, na qual as zonas de sombra (S) estão bem desenvolvidas em vista de estarem dispostas perpendicularmente à varredura do Radar, como também por abranger o Canal Remoto (CR). Observa-se o contato CP e CR, em sua porção mediana.

### 5.2.2 Encurtamento de Radar

O encurtamento de Radar ocorre nas pendentes voltadas para a antena (reflexão frontal aguda), que devido a seu posicionamento geométrico terão um único retorno, mostrando-se com tons brancos no RVL, sob a forma de linhas ou traços grossos. Com relação às pendentes não voltadas para a antena, também existe encurtamento, havendo uma única situação em que não ocorre tal fenômeno, que é o caso do *grazing*.

Na Estampa 2 têm-se várias situações de encurtamento de pendentes (E), resultando em um maior ressaltado no relevo. Por sua vez, nas Estampas 2 e 3, tais feições provocam fortes distorções em vista do relevo acidentado (E).

Malgrado a distorção que acarreta o encurtamento de pendentes, tal fator é de grande importância para ressaltar desníveis topográficos, especialmente para relevar traços radargráficos em rochas sedimentares horizontais ou com mergulho fraco.

A Figura 16 c ilustra com propriedade a situação em que ocorre encurtamento de pendentes, pois que a distância do topo (ALt) é igual à da vertente (ALf) e da base da feição (ALb). Ou seja:  $ALt = ALf = ALb$ .

### 5.2.3 Fantasma de Radar (*Radar Layover*)

Constitui um caso extremo de deslocamento de relevo o que impossibilita a interpretação radargeológica. De uma maneira geral, ocorre no Canal Próximo (CP) e é função direta da distância da antena para a feição imageada, uma vez que o topo da feição, estando mais próximo da antena (ALt), terá portanto o seu sinal registrado antes (Figura 16 a). Em outras palavras, ocorre sempre que o ângulo de incidência for negativo, conforme demonstrado na Figura 17.

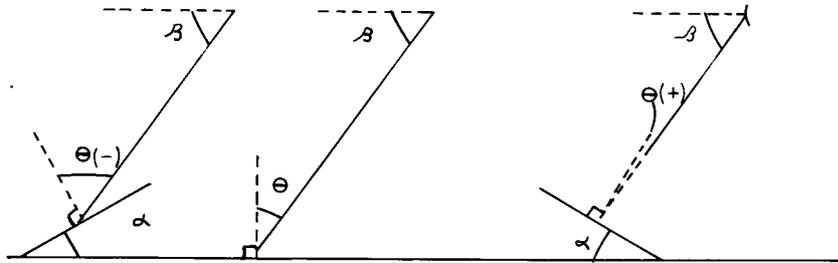


Figura 17 - Variação na Inclinação da Topografia e Efeitos do Ângulo de Incidência (Mekel, 1972).

Em Território Nacional, com cobertura radargamétrica da GEMS, tal fenômeno não ocorreu por questões da geometria do sistema GEMS, devido a seu ângulo de depressão (Figura 18). Por outro lado, mesmo assim poder-se-ia ter *layover* na Serra Imeri (Pico da Neblina (Estampa 3) e Serra do Caparaó (Estampa 4), fato não consumado por dois motivos: ângulos de incidência positivos e imagens no canal remoto. Ademais, deve-se ressaltar que, no Pico da Neblina a morfologia é de tabuleiros, ao passo que na Serra do Caparaó é de cristas; no entanto, não voltadas em direção à antena. De qualquer sorte, na Estampa 4 têm-se feições que poderiam sugerir a presença de *layover*, indicadas pela letra L, no entanto pelo que foi discorrido acima trata-se de *pseudolayovers*.

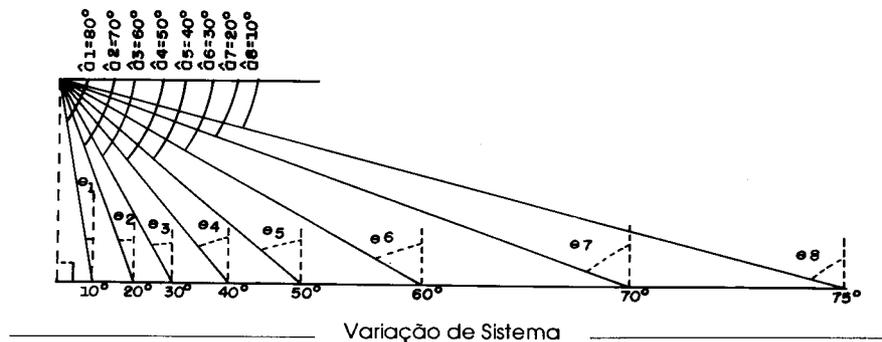


Figura 18 - Relação de Variação entre o Ângulo de Depressão ( $\beta$ ) e o Ângulo de Incidência ( $\theta$ ) (Mekel, 1972).

### 5.2.4 Paralaxe de Radar

De maneira distinta das fotografias aéreas, que apresentam uma distorção radial, as imagens de Radar provocam um deslocamento das feições positivas em direção à antena de Radar, o inverso ocorrendo com as negativas (Figura 19). Então, a soma do deslocamento de relevo, evidenciada nos canais próximo e remoto, constitui a paralaxe. Graças a este parâmetro, é possível obter-se a estereoscopia de Radar. Em que pese a noção de terceira dimensão das imagens de Radar, a estereoscopia é de grande importância na interpretação de áreas com relevos fortes, em vista do encurtamento das pendentes e extensas sombras (Estampas 3 e 4).

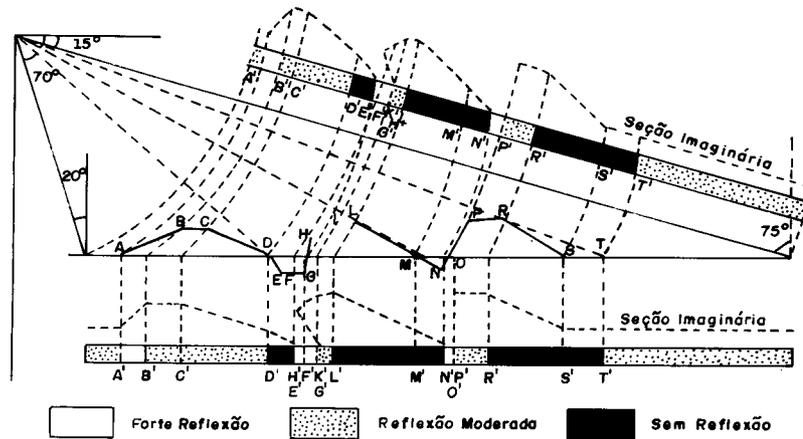


Figura 19 - Paralaxe de Radar (Mekel, 1972).

Langer (1972) estabeleceu através de equações uma maneira simples na determinação de alturas na imagem RVL, tendo por base o comprimento das sombras no CP ou CR.

## 6 Produtos e Aplicações

As imagens de Radar são apresentadas sob a forma de faixas ou mosaicos nas escalas de 1:250 000, 1:200 000 e 1:100 000. As escalas originais são amiúde pequenas: GEMS (1:400 000 e 1:250 000), STAR SISTEM (1:200 000) e SIR (1:500 000). No entanto, é possível apresentá-las em escalas maiores (1:50 000), inclusive com negativos coloridos, objetivando exibir maiores detalhes do terreno. Por outro lado, o uso da estereoscopia é de grande valia nas interpretações, assim como nas combinações LANDSAT/RADAR.

As grandes vantagens dos futuros produtos do RADARSAT, do SIR e ERS-1 é a possibilidade de apresentação em fitas compatíveis com computador (*Compatible Computer Tape*).

As imagens de Radar tiveram grande aplicabilidade no levantamento de recursos naturais efetivados pelo então Projeto RADAM (RADAMBRASIL), no período de 1971 a 1986, envolvendo os campos da Cartografia, Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Fitoecologia e uso potencial da terra em todo o território brasileiro. Os produtos de tão significativo trabalho estão consubstanciados em 38 massudos volumes, denominados LRN, dos quais foram até hoje publicados 34. Com a extinção do referido projeto, em 4 de março de 1986, a responsabilidade da publicação dos volumes restantes ficou a cargo da Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE - pertencente à Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação.

A grande utilização das imagens de Radar se concentra nos campos da Geologia, Geomorfologia, Cartografia, Pedologia e Fitoecologia, como também é de grande relevância no estudo das dinâmicas do gelo e do mar, e zonas costeiras.

Em vista de sua independência com relação a nuvens, as imagens de Radar são de grande valia nos estudos dos planetas que apresentam suas superfícies encobertas por nuvens, como acontece com Vênus e um satélite de Saturno (Titã).

Finalmente, deve-se enfatizar que com o lançamento do satélite ERS-1, em março de 1991, e com o futuro aparecimento, em meados de 1995, do RADARSAT, ter-se-á oportunidade de reavaliar as regiões já estudadas pela GEMS em Território Nacional. Isto devido à visão dinâmica, radar digital, radar multiespectral e estereoscopia, que estão sendo oferecidos.

## 7 Considerações Finais

A fim de constituir um exemplo daquilo que foi explanado até aqui, idealizou-se uma situação hipotética de terreno com cobertura vegetal específica, conforme pode ser visto na Figura 20. Na parte superior da mesma é exposta de forma esquemática uma região costeira, evidenciando para seu interior a presença de chapadões com cobertura de vegetação tipo savana, a qual dá lugar a uma floresta densa associada a *hogbacks*. Na parte inferior esquematiza-se um diagrama relacionando tempo *versus* intensidade do sinal de retorno. Pela análise da Figura 20 observa-se que o RVL não discrimina na zona costeira água e terra (1 e 2), em vista de suas idênticas geometrias, ou seja, uma superfície plana, em que pese as constantes dielétricas díspares, a reflexão é sempre especular. Ainda neste caso, se a superfície da água estiver dominada por ondas, então ter-se-á heterogeneidades no alvo 1 e neste caso a discriminação dos alvos 1 e 2 dependerá da relação do comprimento de onda utilizado do Sistema RVL ( $\lambda$ ), altura da rugosidade ( $h$ ) e ângulo de incidência ( $\theta$ ). Para se ter uma superfície lisa é necessário que  $h < \lambda / 25 \text{ sen } \theta$  e rugosa  $h > \lambda / 4,4 \text{ sen } \theta$  (Critério de Rayleigh). Por sua vez, caminhando para o interior é possível discernir a zona colinosa sem vegetação (3) em vista da reflexão difusa. Em 4, vai ocorrer encurtamento de pendentes e em 5, no topo do chapadão, a reflexão volta ser difusa com tonalidade cinza-escuro em vista do tipo de vegetação pouco denso. Em 6, 7 e 8, em que pese ser um terreno pla-

no, distinções serão feitas no tipo de sinal de retorno, porquanto da presença de formações florestais distintas. Em 9, devido à presença de terrenos cársticos haverá forte retorno em vista do efeito de canto (Estampa 1). Em 10 e 11 os sinais de retorno serão muito semelhantes, porquanto da relação topografia/cobertura vegetal. Em 12, tem-se o resultado de um retorno do tipo frontal obtuso e em 13 frontal agudo, este último com maior retroespalhamento.

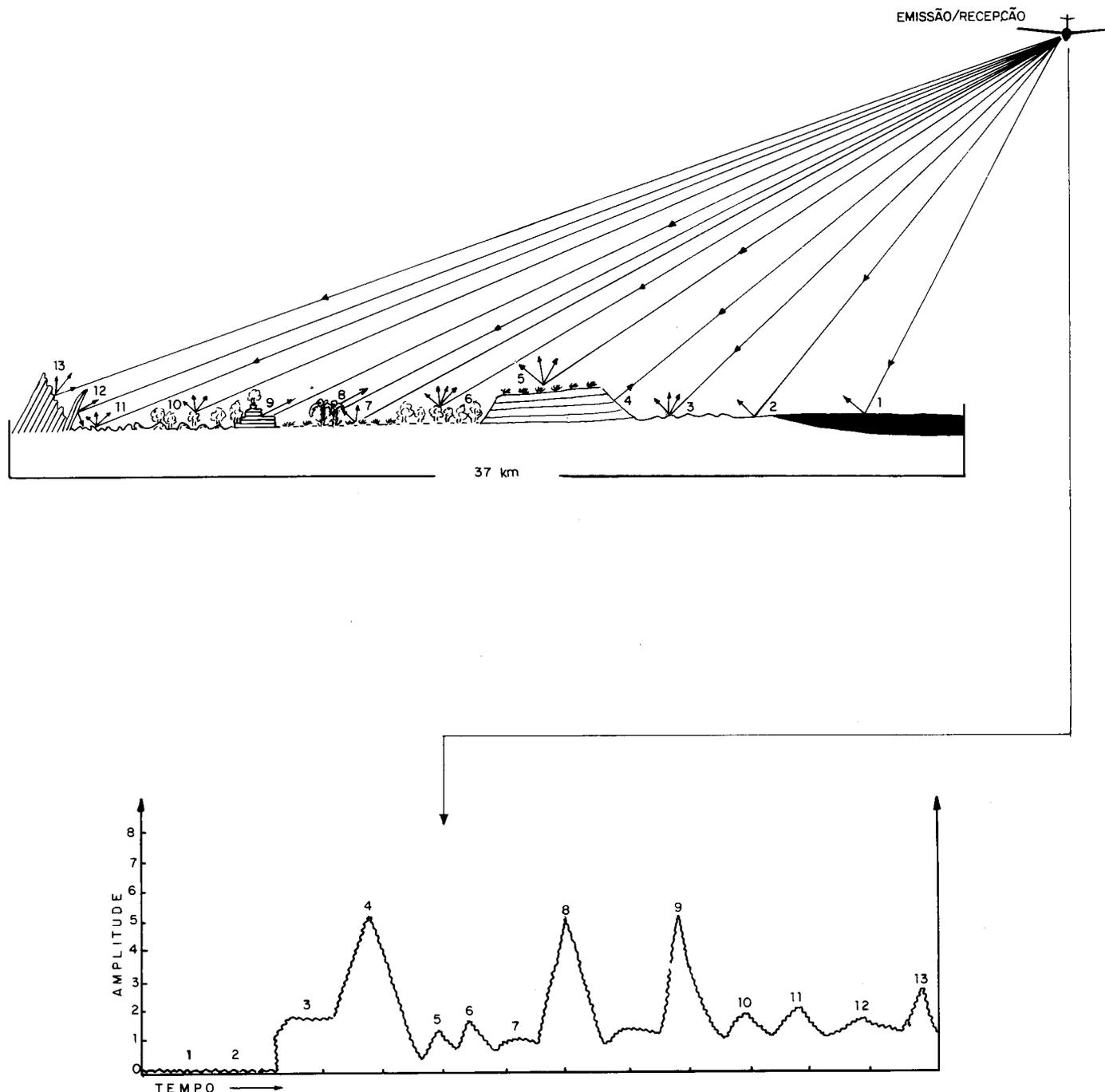
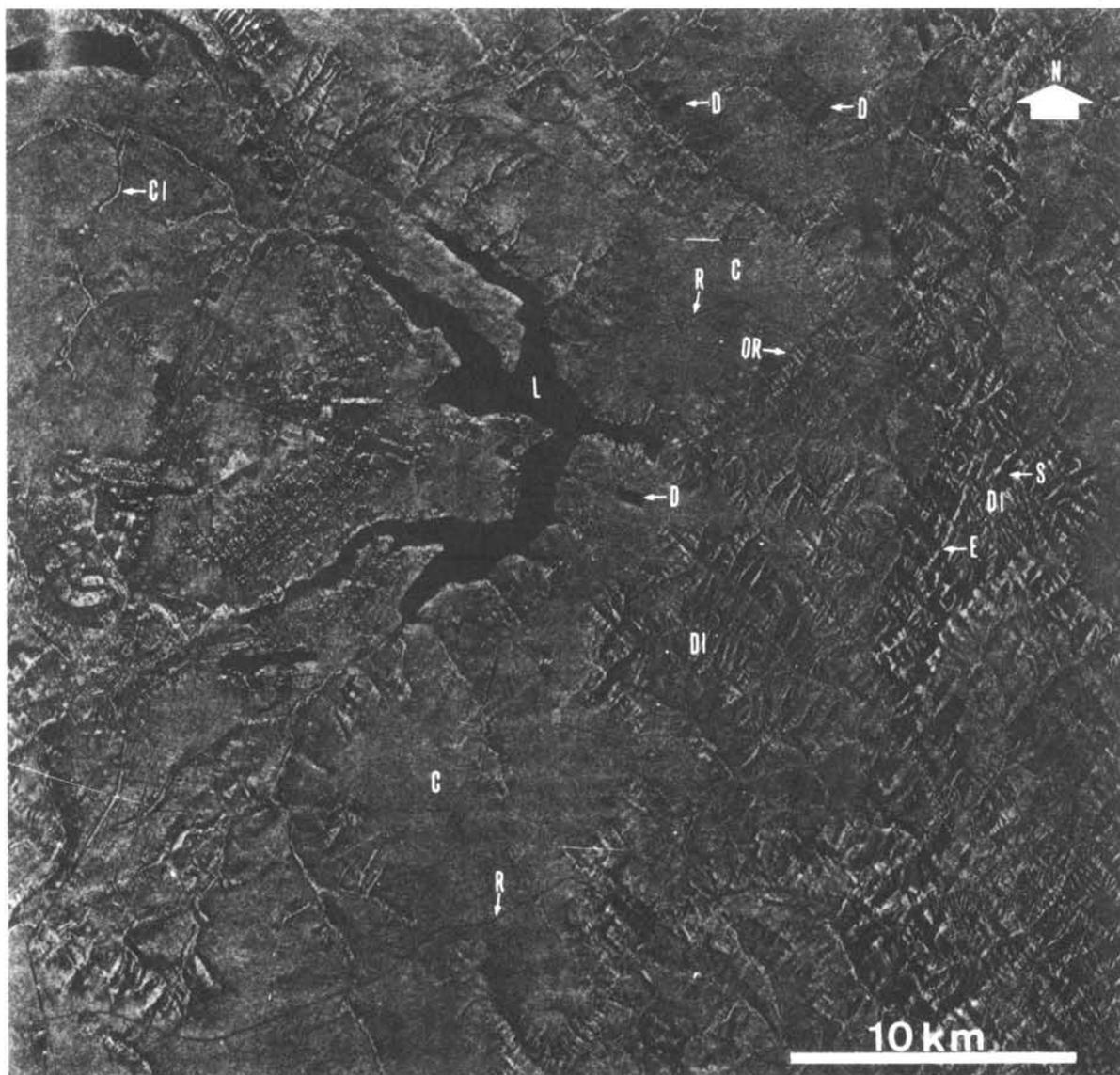


Figura 20 - Esquema do Imageamento RVL.

A Estampa 5 retrata a região de Brasília (DF), Folha SD. 23-Y-C, na qual pode ser observada a grande atividade antrópica na região, mesmo se considerando que a imagem é relativa a 1975/76. A reflexão especular está evidenciada nos lagos (L) e desmatamentos em (D), assim como refletores de canto com tonalidades brancas estão bem repre-

sentados em Brasília e nas suas cidades satélites. Na zona de relevo plano, domina uma tonalidade cinza, produto do retorno da vegetação do tipo cerrado que domina a região (C), além das matas ciliares com tonalidade branca (CI). Nas zonas dissecadas (DI) percebe-se a presença de encurtamento de pendentes (E) e sombras (S), dando como consequência um maior ressaltado da morfologia. Quebras de relevo estão indicadas em (QR) e rodovias em (R).



Estampa 5 - Feições Antrópicas. Região de Brasília (Distrito Federal). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD. 23-Y-C. L = reflexão especular; D = desmatamentos; C = vegetação do tipo Cerrado; CI = matas ciliares; DI = terreno dissecado; E = encurtamento de pendentes; S = sombra; QR = quebra de relevo; R = rodovia. Vide explicações no texto.

# METODOLOGIA DA INTERPRETAÇÃO RADARGEOLÓGICA

## 1 Introdução

Interpretar, do latim *interpretari*, significa traduzir, ajuizar a intenção, o sentido de, buscar o significado. Deste modo, para que o “intérprete” de imagens obtidas através de sensoriamento remoto consiga rastrear os vestígios ou pegadas das feições que está estudando, necessário se faz que entenda a plêiade de sinais eletromagnéticos produzidos, a fim de compreender a mensagem que os mesmos transmitem. Tal procedimento requer, para sua plena consecução, antes de qualquer pesquisa, um perfeito conhecimento do sensor que se está operando, como também um domínio do tema que se está pesquisando.

Então, interpretar imagens, consiste em acumular informações que indiquem ou sugiram a verdadeira origem das feições que se está estudando, de sorte que seu trabalho de detetive seja facilitado.

A metodologia utilizada em fotografias aéreas na interpretação geológica já é conhecida desde a década de 50, através dos trabalhos de Lueder (1959), posteriormente desenvolvida por Miller (1961) e Guy (1966). Este último, de grande importância pela introdução de uma metodologia própria, “Método da Lógica Sistemática”, mais tarde inserida no Brasil através de Rivereau (1970) e Soares & Fiori (1976). Merecem citação ainda os trabalhos de Ricci & Petri (1965), Allum (1966) e Vergara (1971). Por outro lado, no que concerne a imagens de satélite envolvendo as faixas do visível e infravermelho, merecem destaque os inúmeros trabalhos desenvolvidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE -, dentre os quais têm-se as pesquisas desenvolvidas por Veneziani & Anjos (1981) objetivando estabelecer uma metodologia para a interpretação de imagens LANDSAT. Por sua vez, no que tange a imagens de Radar de Visada Lateral (RVL) menção especial deve ser creditada aos trabalhos desenvolvidos pelo Projeto RADAM (RADAMBRASIL) em todo o Território Nacional. No entanto apenas Liu & Rodrigues (1985) e Lima (1989) dão enfoque especial a procedimentos metodológicos. O roteiro metodológico a ser apresentado no presente trabalho é baseado em Lima (op. cit.), o qual será ampliado, analisado e percorrido nas páginas seguintes. Lima (op. cit.) denominou tal metodologia “Lógica das Chaves”; no entanto, em vista de suas características intrínsecas e como também a fim de evitar especulações se os outros métodos são “ilógicos”, prefere-se denominá-lo de “Sistemática das Chaves”.

Dentre os trabalhos de cunho geológico efetuados em Território Nacional, que abordam a utilização de imagens RVL combinada ou não com outros sensores, merecem citação: Pedreira (1974), Lima (1975), Lima (1978), Soares et al. (1981), Cunha (1982), Miranda (1983), Pedreira (1983), Lima (1984), Miranda (1984), Cunha (1985), Cunha (1986), Lima (1986), Cunha (1988), Lima (1988) e Lima et al. (1990).

## 2 Metodologia

Consoante à linha metodológica estabelecida por Lima (1989), em princípio cinco estádios devem ser alcançados: Leitura, Reconhecimento, Identificação, Análise e Interpretação (s.s.) (Figura 21, a, b, c, d, e).

O Estádio LEITURA consiste no exame dos elementos que compõem a imagem a fim de entender seu significado, o que implica conhecimento teórico dos princípios do sensor Radar por parte do intérprete. Por exemplo: identificações de feições antrópicas, drenagens, morros, zonas vegetadas, etc. Deste modo traços serpentiformes negativos podem representar a drenagem, igualmente feições arredondadas positivas devem constituir morros; traços escuros pontificando polígonos regulares na imagem poderiam evidenciar antropismo e assim por diante. Em termos gramaticais configura a fase de alfabetização onde o abecedário comporia os elementos de imagem (Figura 21 a), por exemplo: A, B, C, D...

O Estádio RECONHECIMENTO visa a agrupar os “elementos de imagem” descobertos anteriormente de acordo com suas características radiométricas e espaciais. Configura a fase em que o intérprete delimita as “zonas homogêneas”, através dos parâmetros textura/tom radargráficos, com o fito de “reconhecer” as principais características da imagem. Neste estádio, dois principais parâmetros devem ser considerados: textura e tom. A textura pode ser codinominada de lisa, grossa, muito grossa, média, fina e muito fina, ao passo que os tons serão classifi-

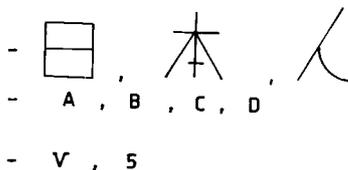
cados dentro das matizes do cinza, tendo como extremos o preto e o branco. Compreende o agrupamento de letras ou sílabas idênticas, na gramática (Figura 21 b), por exemplo:

- a, a, a, a, .....;

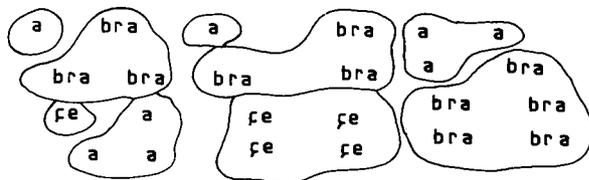
- bra, bra, bra, bra, .....; e

- çe, çe, çe, çe, ..... .

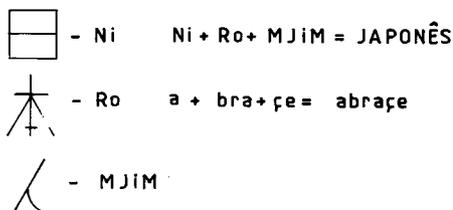
a) ESTÁDIO LEITURA



b) ESTÁDIO RECONHECIMENTO



c) ESTÁDIO IDENTIFICAÇÃO



d) ESTÁDIO ANÁLISE



e) ESTÁDIO INTERPRETAÇÃO

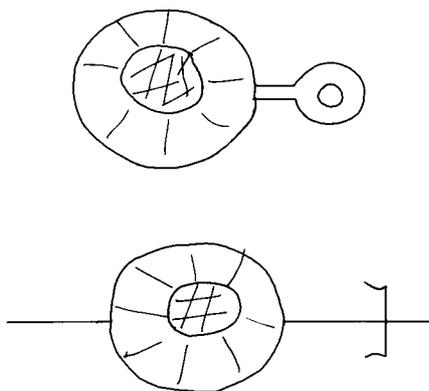


Figura 21 a, b, c, d, e - Estádios da Interpretação Radargeológica.

O Estádio IDENTIFICAÇÃO consiste em agrupar os elementos de imagem, a fim de se obterem formas que nos sejam familiares, propendendo compará-las. Patenteia um estudo mais minudente da morfologia, principal parâmetro realçado no RVL, através das formas de relevo e padrão de drenagem. Para as formas de relevo necessário se faz a caracterização da configuração de seu topo, vale, pendente, quebra de relevo e avaliação de seu grau de dissecação. Consiste no arranjo das sílabas, visando à formação de palavras compreensíveis, em termos gramaticais (Figura 21c). Por exemplo:

- CA+MA+RO+TE = CAMAROTE (com significado em português);

- PA+RAN+GA+RI+CU+TI+RI+MI+QUA+RU = PARANGARICUTIRIMIQUEARU  
(sem significado em português);

- NI+RO+MJIM = NIROMJIM (sem significado em português).

Com o término do Estádio IDENTIFICAÇÃO conclui-se a primeira fase da interpretação radargeológica, ressaltando-se que a mesma consistiu muito mais na preparação, seleção e armazenamento de dados do que praticamente interpretação geológica.

O Estádio ANÁLISE tem como princípio estabelecer o posicionamento espacial dos "elementos de imagem" já identificados. Visa a definir formas estruturadas ou homogêneas no seio da imagem, cuja caracterização será de grande valia para o estágio seguinte. Deste modo ter-se-ão feições planares, lineares negativas e positivas, e tabulares. De posse de tais informações haverá condições de interpretar os principais traços estruturais da imagem. As feições planares envolvem formas orientadas, representadas por um plano, retratando geologicamente acamamento, foliação, planos de fratura ou de cisalhamento. Por sua vez, as feições lineares podem ser tanto positivas como negativas. Neste caso, pode tratar-se de uma fratura, enquanto que naquele há uma foliação vertical ou de ângulo forte.

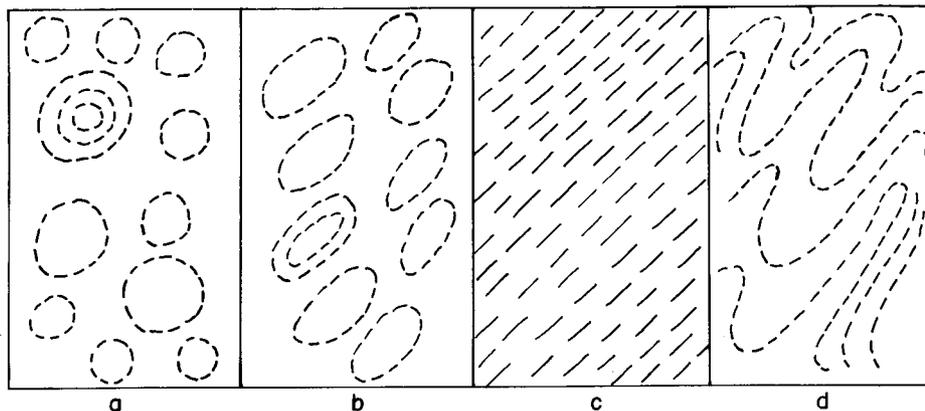
As feições tabulares devem ser delimitadas, consistindo em uma feição linear de maior possança, e podem retratar um nível litológico mais resistente (quartzito), diques ou zonas de silicificação. Em termos gramaticais, compreenderia a ordenação de palavras objetivando uma mensagem inteligível (estruturada) ou enigmática (não-estruturada) (Figura 21d). Por exemplo:

- O RIO SUBIU O MORRO (1);
- A CAMA FALA (2);
- O MENINO CORRE (3).

Em que pese as frases 1, 2 e 3 serem gramaticalmente corretas, sabe-se que apenas a (3) é viável de existir.

De outro modo, malgrado a preocupação do intérprete em descobrir fatos concretos na imagem, muitas vezes traços absolutamente reais, mais devido a sua disposição espacial, podem levar o intérprete a imaginar pseudo feições, provocadas pela ilusão de ótica. Como pode ser visto na Figura 22, o radarintérprete visualiza formas estruturadas em áreas não estruturadas, desde que tenha em mente aquelas feições. Para acontecer isso basta que o leitor fixe a visão em uma das feições estruturadas da parte superior da figura acima referida e posteriormente tente observá-las na porção inferior da mesma.

#### 1- ESTRUTURADO



#### 2- NÃO ESTRUTURADO

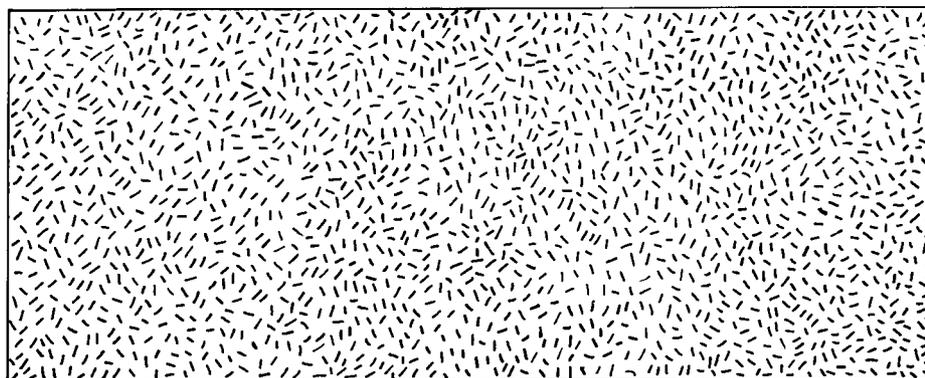


Figura 22 - Ilusões de Ótica.

Finalmente, o Estádio INTERPRETAÇÃO compreende, em essência, o agrupamento de fatos observados nos estádios anteriores visando à descoberta e avaliação por métodos comparativos e/ou dedutivos. Para se atingir esta fase, torna-se necessário que o radarintérprete tenha conhecimento prévio dos parâmetros que procura, em especial, aqueles dispostos no terreno e suas representatividades na imagem de Radar. Em termos gramaticais, corresponderia à interpretação de textos. Deste modo, somente neste estádio é que se descartariam as frases (1) e (2) acima referidas. Com efeito, os desenhos indicados na Figura 21 e podem ser agora definidos pelo intérprete.

Em suma, o que se procura aplicar na presente metodologia é um método independente, que procura aplicar alguns princípios básicos do "Método das Chaves" (Miller, 1961; Ray, 1963; Vergara, 1971) e a filosofia utilizada no "Método da Lógica Sistemática" (Guy, 1966; Rivereau, 1970), sem no entanto ser um método misto. Do mesmo modo que se usa "Chaves de interpretação", paralelamente, várias evidências são analisadas para que a interpretação não seja essencialmente comparativa ou indutiva, evitando deste modo a ambigüidade. Ou seja, para tanto necessita-se utilizar a "Lógica Sistemática". Tal método é codinominado "Sistemática das Chaves" e será aplicado nesta obra (Figura 23, a, b, c, d, e).

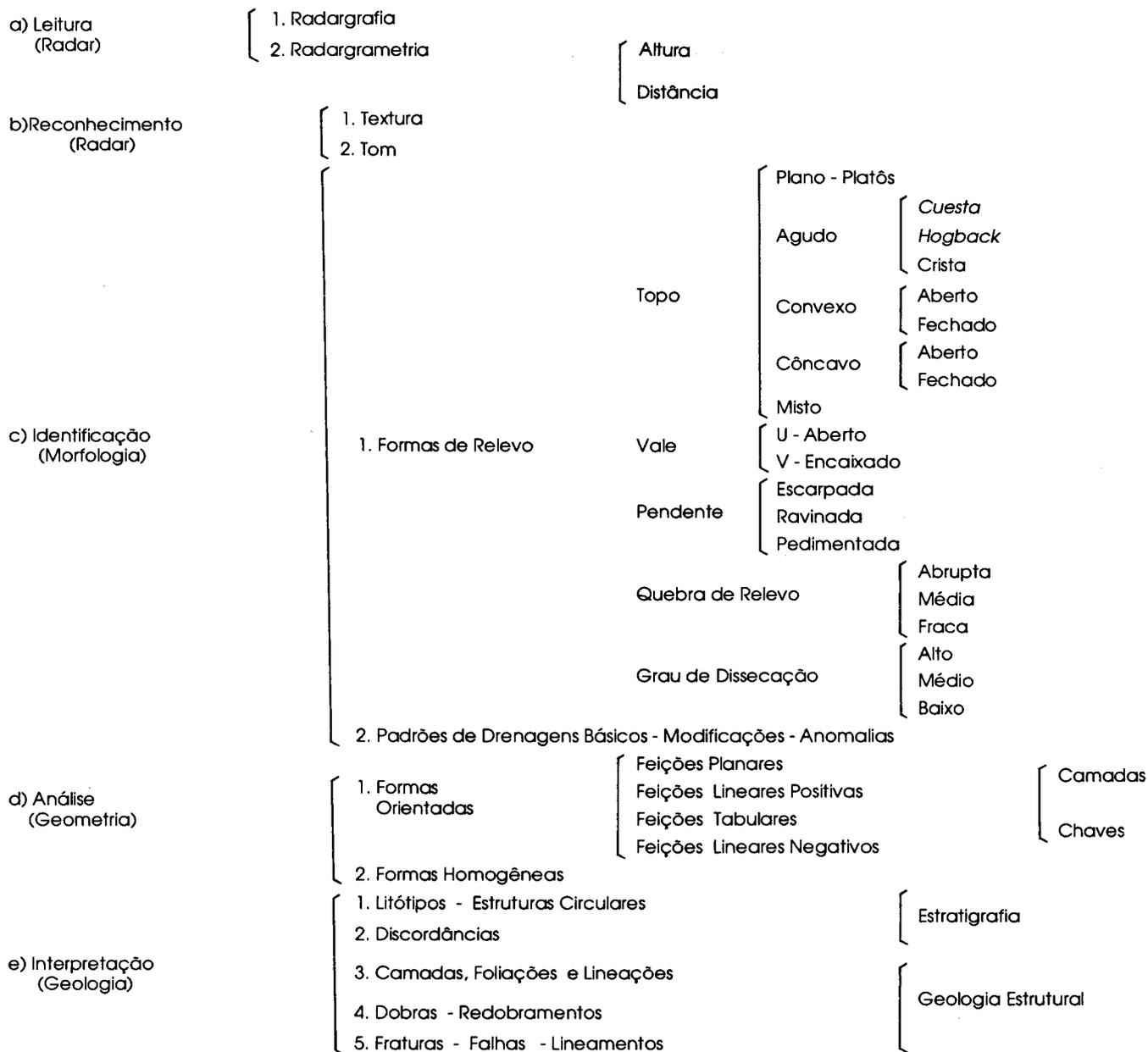


Figura 23 a, b, c, d, e - Metodologia da Interpretação Radargeológica

### 3 Sistemática

Um fator que deve ser sempre considerado na sistematização diz respeito às características inerentes do sensor que se está trabalhando. Desse modo, a metodologia utilizada na interpretação de imagens de Radar (Lima, 1989), faixa das microondas, não deve ser a mesma para fotografias aéreas, imagens LANDSAT/TM e SPOT, que estão nas faixas do visível e IV, em vista das resoluções espacial e radiométricas distintas. No entanto, acredita-se que uma única metodologia seja aplicável para as imagens LANDSAT/TM e SPOT (Veneziani & Santos, 1981), da mesma forma que as fotografias aéreas devem ter a sua própria metodologia (Soares & Fiori, 1976).

Em vista do acima exposto, a interpretação geológica em imagens de Radar deve calcar-se fundamentalmente em aspectos relacionados a traços de relevo e padrão de drenagem, ou seja, morfologia, uma vez que tais parâmetros são bastante realçados neste sensor. Por outro lado, outros parâmetros poderão ser pouco utilizados, tom, por exemplo, cuja aplicabilidade será maior em terrenos planos e plano-ondulados do que em relevos acidentados.

Para um melhor desenvolvimento do Estádio LEITURA torna-se necessário um conhecimento teórico sobre geometria de Radar e percepção da relação imagem/terreno (Figura 23a).

Os dois principais elementos de imagem que devem ser identificados em primeiro lugar constituem-se pela textura e tom radargráficos. Os mesmos devem ser individualizados, utilizando-se as faixas de Radar, em virtude de sua melhor resolução do que nos mosaicos, além de propiciar uma melhor ordenação racional na interpretação. Compreende o Estádio RECONHECIMENTO (Figura 23b). Segue-se um estudo mais acurado dos sistemas homogêneos individualizados, partindo-se para a definição das formas de relevo e padrão de drenagem. Após a caracterização desses "elementos de imagem", dá-se por concluído o Estádio IDENTIFICAÇÃO" (Figura 23c).

Para esses estádios utiliza-se o grafite "marrom" na delimitação dos contatos referentes à textura, tom e quebra de relevo. Para drenagem deve-se usar o "verde", ao passo que para a atividade antrópica sugere-se o "amarelo".

Como complemento, acrescenta-se que a delimitação do padrão de drenagem pode ser feita tanto preliminarmente ou com traçado total. O primeiro acontece geralmente em áreas com alta densidade de drenagem, o que torna inexecutível sua delimitação total devido à baixa resolução do sensor. Para tais situações sugere-se traçar apenas a drenagem de 5, 4 e 3 ordens. O segundo caso abarca geralmente terrenos sedimentares, no qual é viável a delimitação total da drenagem, principalmente quando associado a relevos fracos a médios.

A textura e tom radargráficos devem ser inicialmente traçados com lápis dermatográfico nas faixas de Radar (Canal Próximo e Canal Remoto) e posteriormente transportados para o Calco I do mosaico por "estereoscopia". De igual modo, as informações concernentes às Formas de Relevo (Topo, Vale, Pendente e Quebra de Relevo) e Padrão de Drenagem devem ser delineadas no Calco I (Figura 24).

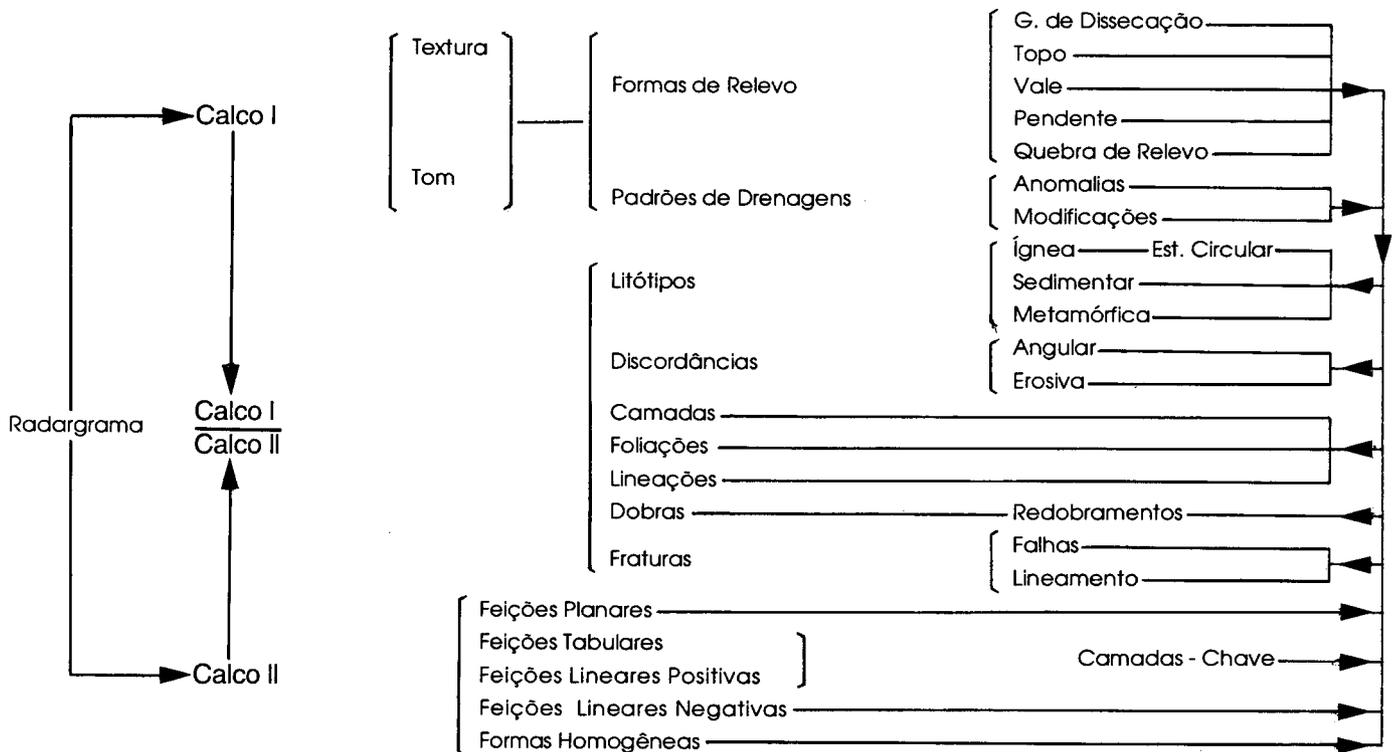


Figura 24 - Sistema da Interpretação Radargeológica

O Estádio ANÁLISE objetiva inicialmente classificar as formas de relevo em tipos estruturados e não-estruturados. Os primeiros são subdivididos em: feições planares, lineares positivas e negativas, e tabulares. Os não-estruturados corresponderão às formas homogêneas (Figura 23d):

- feições planares envolvem formas orientadas representadas por um plano, ou seja, duas dimensões bem definidas. Identifica-se pela feição "U" ou "V". Devem ser delineadas com grafite azul. Representam a foliação ou acamamento ou planos de fratura e cisalhamento;
- feições lineares positivas correspondem a estruturas planares verticalizadas realçadas pela visada lateral do Radar sob a forma de "Encurtamento de Radar". Delimitam-se com grafite azul na parte positiva. Retratam os "Lineamentos de Radar". Por outro lado, as feições lineares negativas podem constituir um traço de drenagem e/ou simplesmente traço de fratura. Devem ser delineadas com grafite vermelho na parte negativa; e
- feições tabulares correspondem a feições lineares cuja delimitação é compatível com a resolução do sensor Radar que está sendo estudado. Retratam diques, zonas de silicificação ou então camadas-guia. São de grande relevância na interpretação estrutural. Delimitam-se com grafite preto.

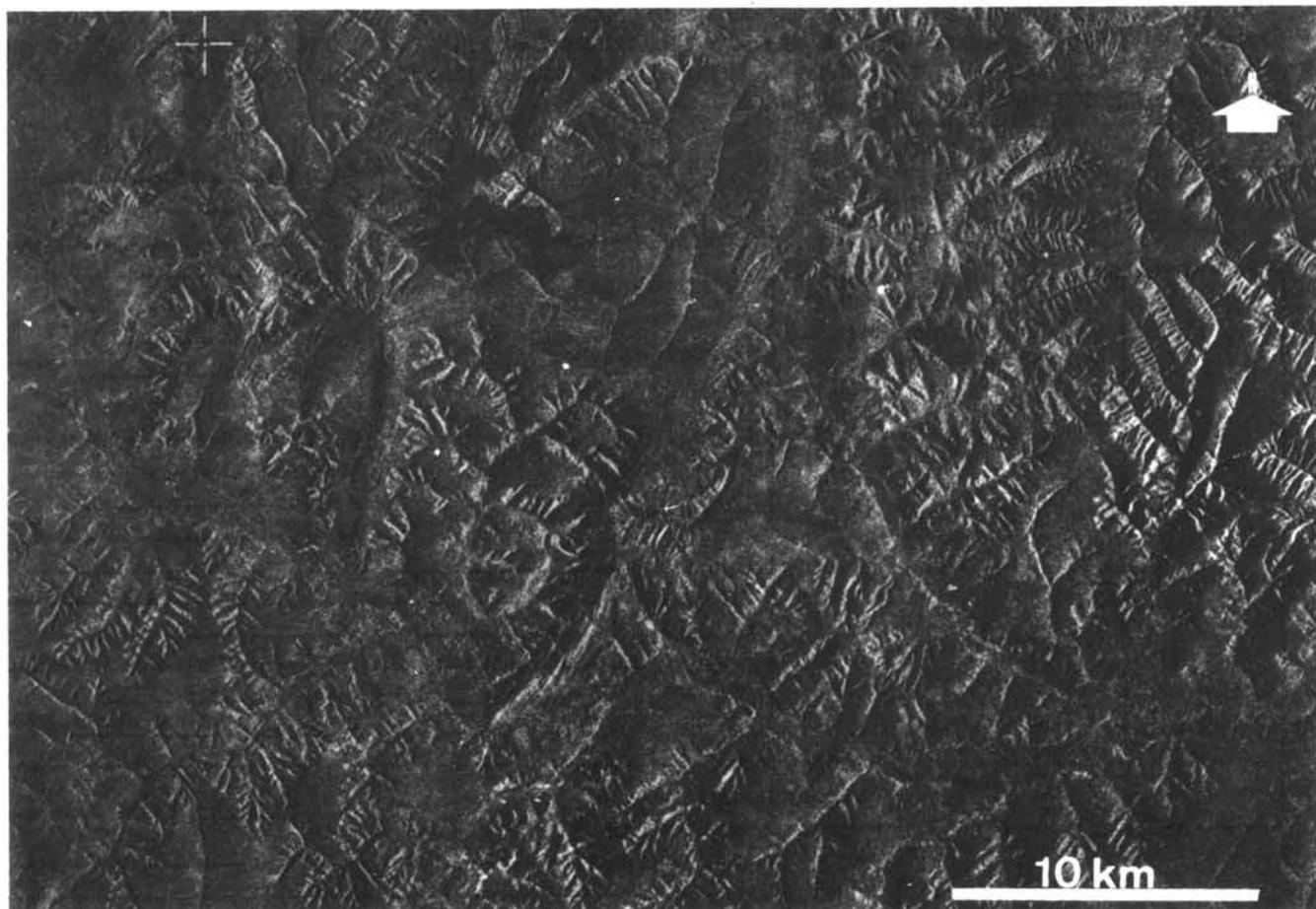
As formas homogêneas representam os tipos não-estruturados e devem ser individualizadas com grafite preto.

Após a conclusão do Estádio ANÁLISE praticamente já se exauriram as informações que podem ser obtidas do sensor Radar, cujos resultados deverão variar de acordo com a experiência do intérprete.

Na obtenção das informações constantes do Estádio ANÁLISE deve-se utilizar o Calco II. Procedendo-se desta forma, a identificação e caracterização das feições planares, lineares e tabulares serão facilitadas.

A consecução do Estádio INTERPRETAÇÃO, propriamente dito, será obtida pela superposição dos Calcos I e II, como pode ser observado no esquema da Figura 24.

A fim de ilustrar a metodologia aqui discorrida utiliza-se uma imagem de Radar RVL-GEMS, banda X, da região de Rio Pardo de Minas (MG), concernente à Faixa de Dobramentos Araçuaí (Proterozóico Superior) exposta na ESTAMPA VI e respectiva interpretação geológica na Figura 25. Os diversos estádios são exemplificados nas Figuras 26, 27, 28 e 29.



Estampa 6 - Redobramentos em Metassedimentos de Baixo Grau Metamórfico. Região de Rio Pardo de Minas Gerais (Minas Gerais). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD. 23-Z-D.

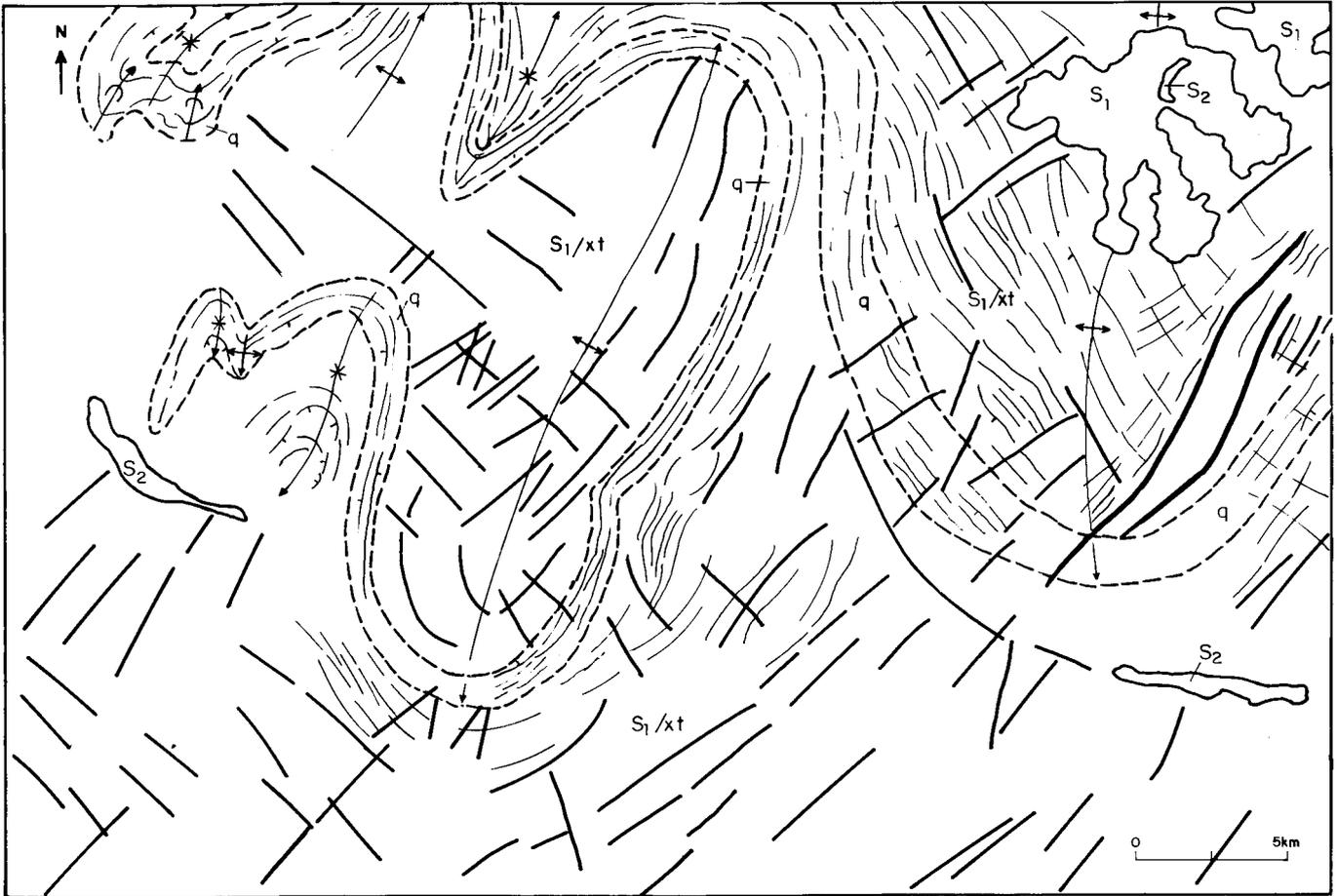


Figura 25 - Redobramentos em Metassedimentos de Baixo Grau Metamórfico. Folha SD. 23-Z-D (Cf. Estampa 7).

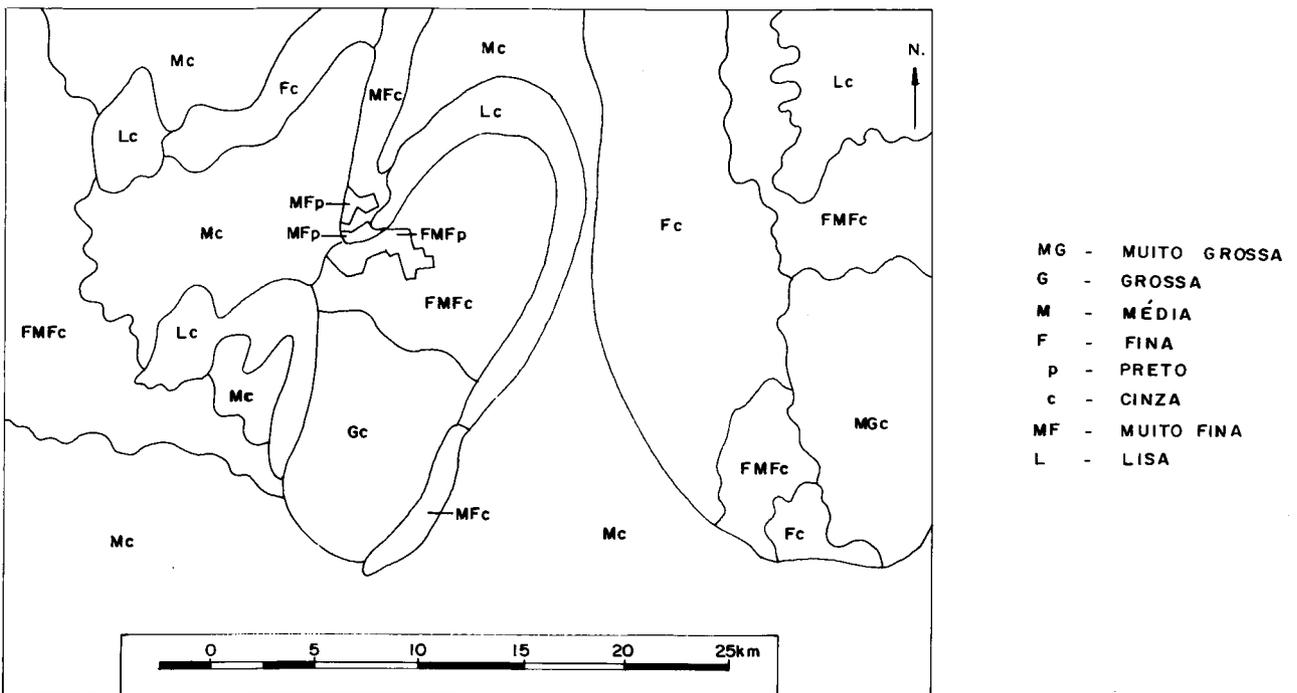
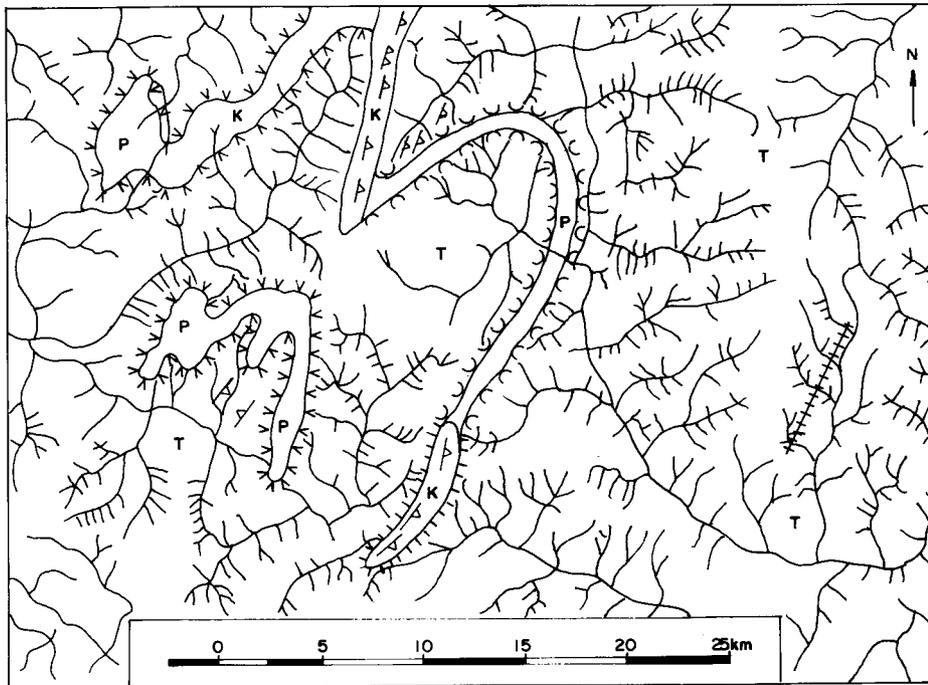


Figura 26 - Textura/Tom (Estádio Reconhecimento) (Lima, 1989).



- |   |                     |  |                    |
|---|---------------------|--|--------------------|
|   | DRENAGEM            |  | PENDENTE RAVINADA  |
| P | TOPO PLANO          |  | PENDENTE CÔNCAVA   |
| K | TOPO AGUDO          |  | PENDENTE ESCARPADA |
| T | INTERFLÚVIO TABULAR |  | CRISTA ASSIMÉTRICA |
|   |                     |  | CRISTA SIMÉTRICA   |

Figura 27 - Drenagem/Formas de Relevo (Estádio Identificação) (Lima, 1989).



- |  |                            |
|--|----------------------------|
|  | Feições Planares           |
|  | Feições Lineares Negativas |
|  | Feições Lineares Positivas |
|  | Feições Tabulares          |

Figura 28 - Feições Planares, Lineares e Tabulares (Estádio Análise) (Lima, 1989).

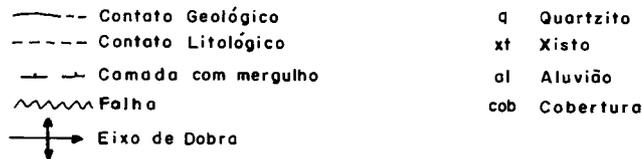
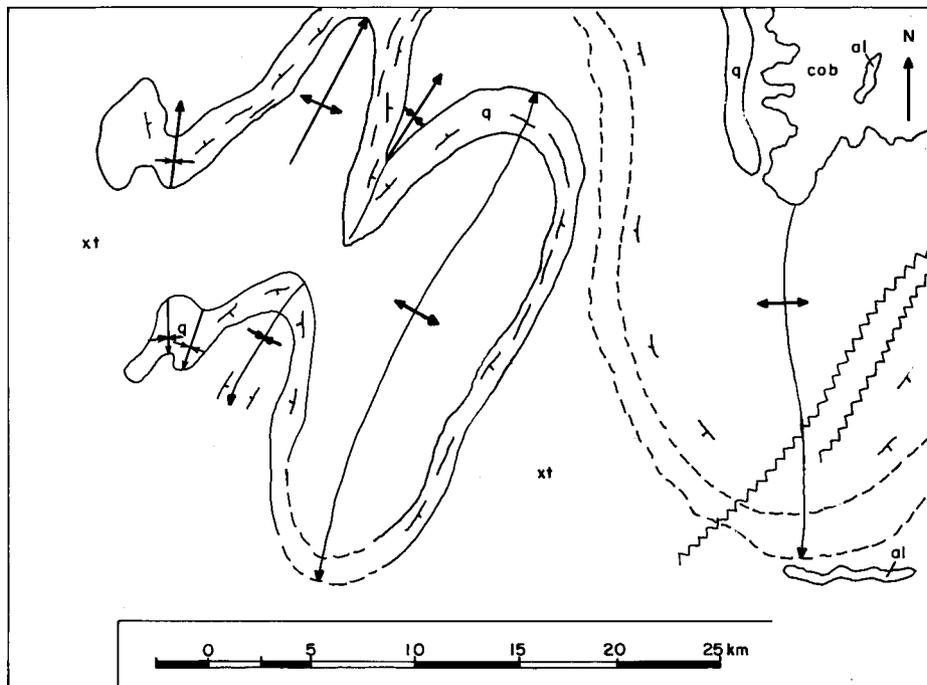
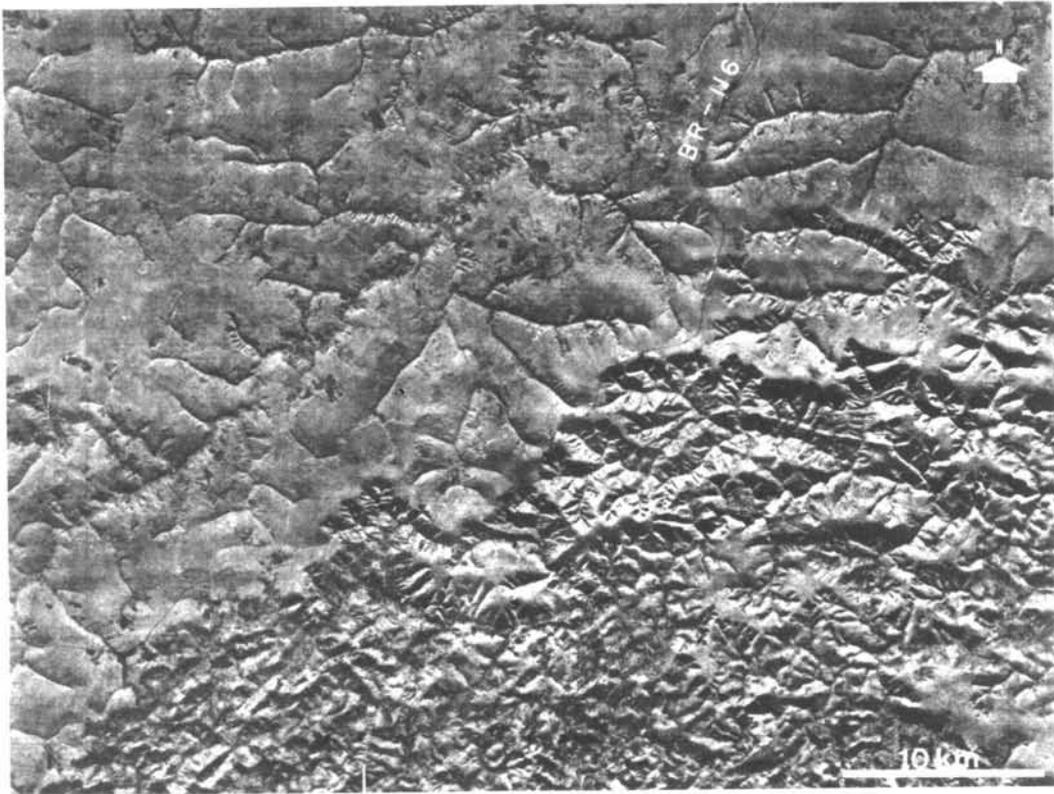


Figura 29 - Interpretação Geológica (Estádio Interpretação) (Lima, 1989).

O último estágio, INTERPRETAÇÃO, é inteiramente dedutivo e poder-se-á interpretar tipos litológicos, discordâncias, ambos de grande importância na definição da estratigrafia; assim como parâmetros ligados à Geologia Estrutural como dobras, fraturas, foliações e lineamentos. As interpretações relativas à Geologia Econômica poderão advir da definição de grandes lineamentos, como também estruturas circulares ou associações com respeito a litotipos (Figura 23e).

Se o intérprete seguir *pari passu* os estádios aqui percorridos, obterá parâmetros radargráficos, em bases cada vez mais seguras, para a seleção dos alvos a serem checados no terreno, como também subsídios importantes para a consecução do "Mapa Radargeológico".

A fim de ilustrar as diversas etapas metodológicas que serão abordadas neste trabalho, selecionou-se a região de Pedra Azul (Minas Gerais/Bahia), Estampa 7, para servir como paradigma em virtude de sua fisiografia e ambiente geológico. Ademais, considera-se o Capítulo I deste trabalho como relativo ao Estádio LEITURA. Em vista disso, apresenta-se a Figura 30, feições antrópicas, como representativa do mesmo. Para as convenções vide Legenda 1.



Estampa 7 - Área-Modelo. Região de Pedra Azul (Minas Gerais/Bahia). Imagem RVL-GEMS, Banda X. 1971/1972. Folha SD. 24-Y-C.

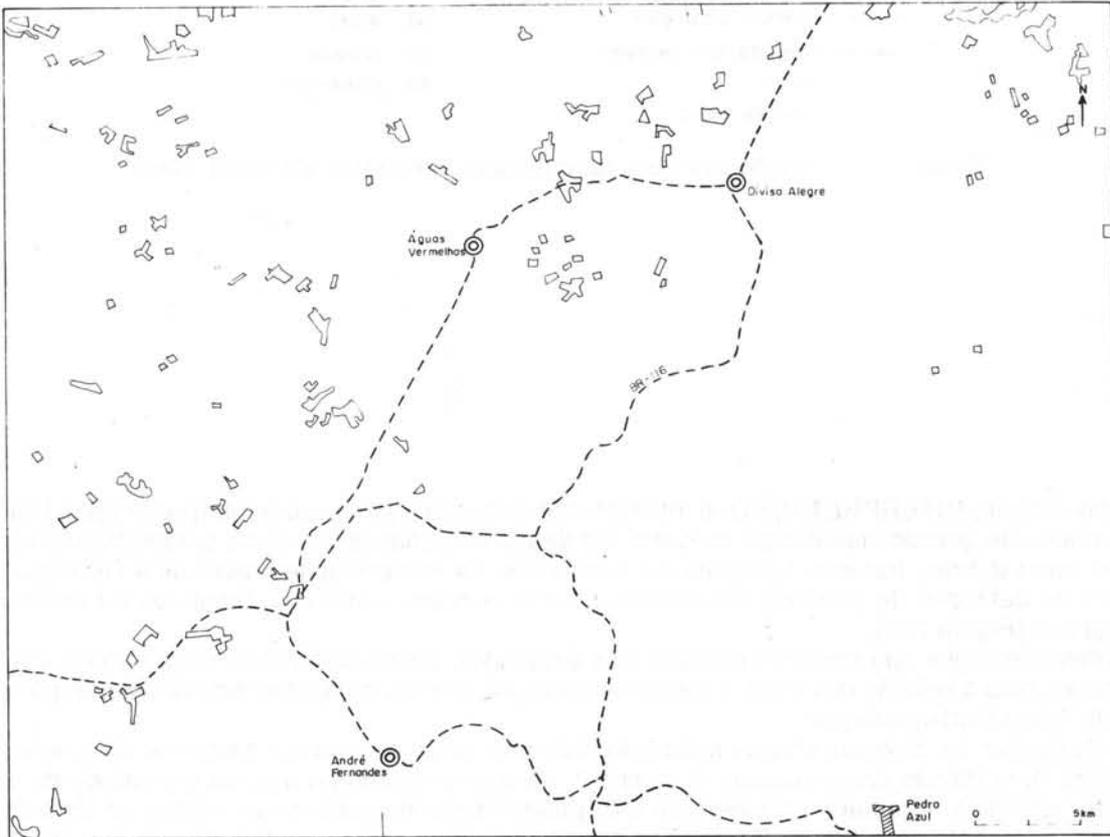


Figura 30 - Feições Antrópicas. Folha SD. 24-Y-C (Cf. Estampa 7).

Convenções Utilizadas na Interpretação de Feições Antrópicas (Gráfico Amarelo)

	- Cidade		- Desmatamento
	- Povoado ou Distrito		- Ponte
	- Rodovia Principal		- Barragem
	- Rodovia Secundária		- Usina Nuclear
	- Cultura (Talhão)		- Estrada de Ferro

## 4 Estádio Reconhecimento

### 4.1 Textura Radargráfica

A textura fotográfica é definida como a freqüência de mudança de tons na imagem, produzida por um conjunto de feições tão pequenas para serem claramente discernidas individualmente nas fotografias (Browden & Pruit, 1975). Tal definição, no entanto, é muito genérica para ser aplicada no sentido da textura radargráfica. Deste modo, prefere-se esmiuçar melhor esse conceito. Com efeito, pelas suas características geométricas, radiométricas e espectrais as imagens de Radar de Visada Lateral (RVL) fornecem uma variedade significativa de "células texturais".

Estas são definidas como um conjunto de sinais de retorno, com formas e limites bem delineados e grande repetição espacial. Então, uma "célula textural" pode ser tipificada no terreno por feições que pelos seus parâmetros representem retorno de sinais aproximadamente iguais. Como exemplo, pode-se citar a superfície de um lago, superfícies planas com espécies idênticas de cobertura vegetal, conjunto de morros de mesmas cota, forma e disposição geométrica, etc.

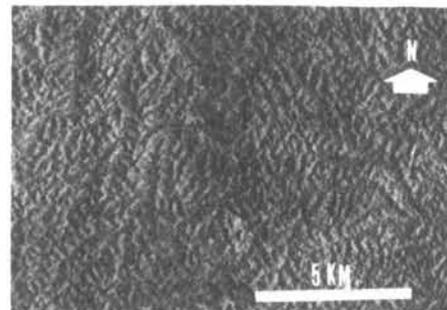
O vocábulo "célula" é aqui empregado no sentido de uma unidade estrutural básica, à semelhança da célula dos seres vivos, cujo conjunto recebe a denominação de tecido. Aqueles mostram como característica fundamental a repetição espacial e formas bem definidas.

Utiliza-se no presente trabalho a definição de textura como um conjunto de "células texturais", consoante conceituação de Rivereau (1970). Assim sendo, textura seria correspondente a tecido.

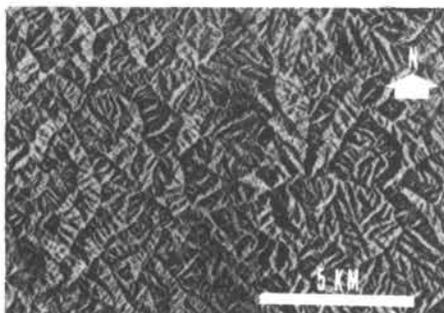
Após a conceituação de textura, torna-se necessário qualificá-la a fim de que se possa analisá-la quanto à interpretação radargráfica. Em vista disso, utilizam-se as seguintes adjetivações: lisa, muito fina, fina, média, grossa e muito grossa. No entanto para que se possa identificar e qualificar essas texturas na imagem de Radar sugere-se utilizar os seguintes critérios para as classes texturais (Estampa 8, a, b, c, d, e, f, g, h).



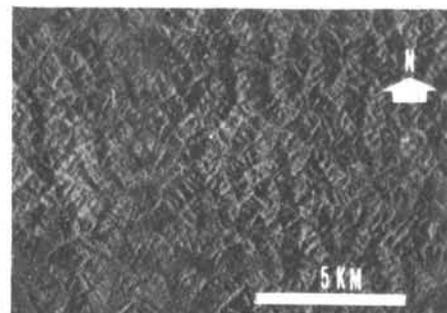
a) Lisa (SD.23-X-D)



b) Muito Fina (SB .22-X-C)

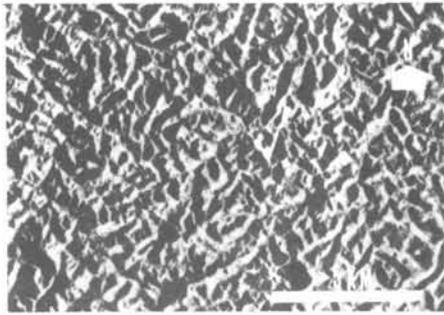


c) Fina (SD.23-Y-C)

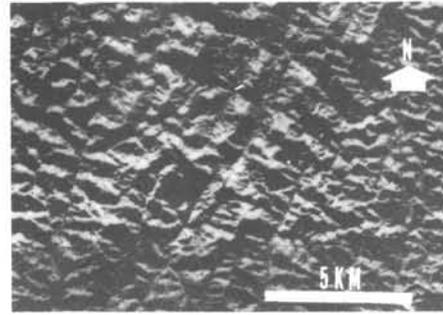


d) Fina Média (SB.22-X-C)

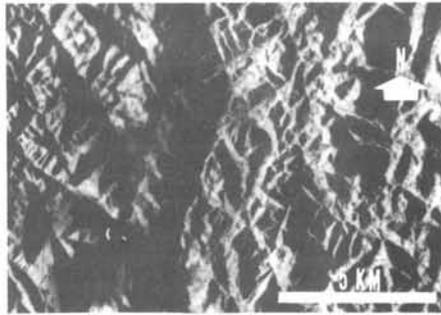
Estampa 8 - a, b, c, d - Texturas Radargráficas. Imagens RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SD.24-V-D. Vide explicações no texto.



e) Média (SF.23-X-D)



f) Média (SD.24-V-D)



g) Grossa (SF.24-V-A)



h) Grossa-Muito Grossa (SD.24-V-D)

Estampa 8 e, f, g, h - Texturas Radargráficas. Imagens RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SD.24-V-D. Vide explicações no texto.

- lisa - quando não for possível distinguir uma célula textural. Fato exemplificado em terrenos planos ou em feições voltadas para a antena de Radar, provocando o desenvolvimento de retorno de sinal único (reflexão frontal aguda) (Estampa 8a);
- muito fina - célula textural entre 125 - 250 m (Estampa 8b);
- fina : célula textural entre 250 - 500 m (Estampa 8c);
- média : célula textural entre 500 - 750 m (Estampa 8e e 8f);
- grossa : célula textural entre 750 - 1 250 m (Estampa 8g);
- muito grossa : célula textural acima de 1 250 m.

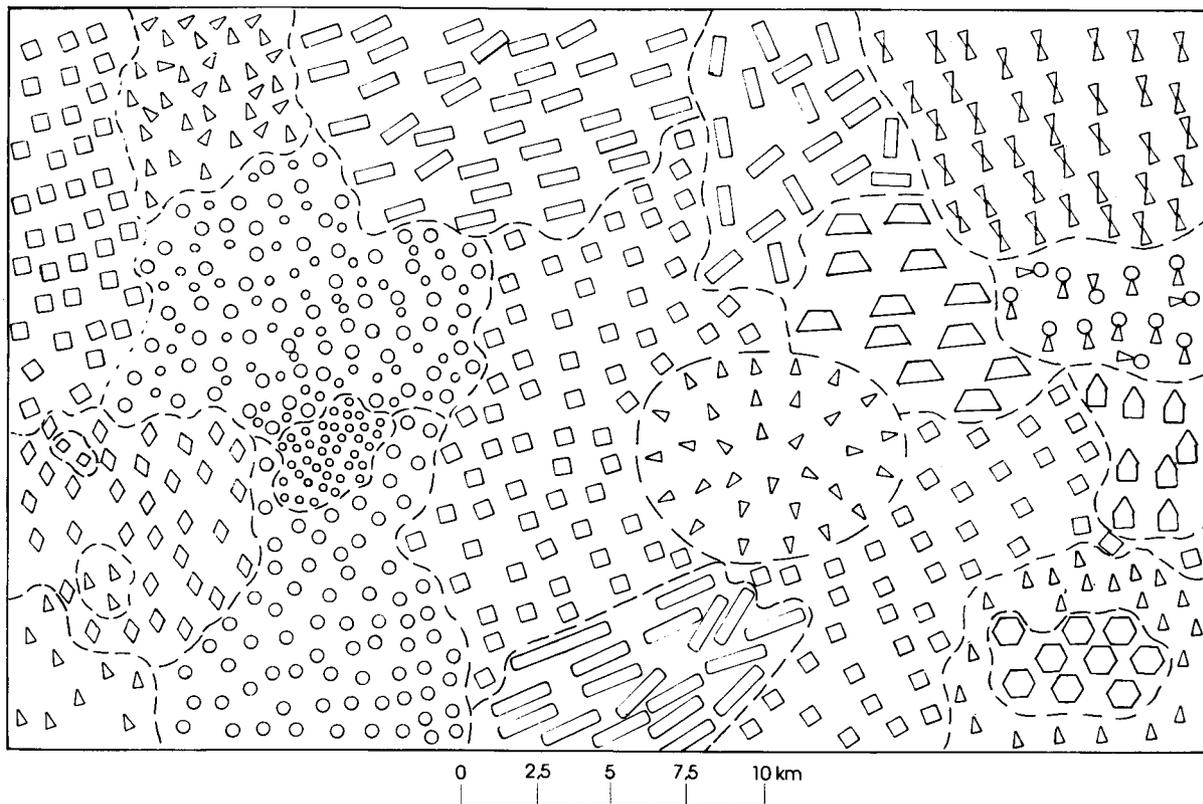
Um procedimento mais prático consiste em classificar as texturas em termos relativos. Deste modo, a textura A é fina em relação à textura B, no entanto mais grossa que a C e assim por diante.

Em vista da variedade de situações que serão encontradas, a qualificação poderá abranger duas das classes acima definidas. Por exemplo: fina-média e grossa-muito grossa (Estampas 8d e 8h).

Muitas vezes, a textura poderá ser caracterizada pela sua densidade. Em outras palavras, duas manchas podem ter a mesma célula textural, contudo com densidades distintas. De outro modo, a célula textural pode também compor um conjunto estruturado ou isótropo.

Como pode ser visto na Figura 31 têm-se várias células texturais, consoante definição anteriormente citada, a qual tem como caracteres principais a forma e limites bem definidos, aliados a sua distribuição espacial. Nesta figura, visualiza-se a presença de formas geométricas tais como círculos, quadrados, trapézios, etc., simples ou combinados, cujos agrupamentos compõem as texturas. As dimensões das células texturais resultam nas adjetivações grossa, média, etc. Por outro lado, deve-se atentar para situações em que a célula textural é a mesma, no entanto com densidades diferentes. De igual modo, deve-se destacar que algumas texturas evidenciam um padrão em ziguezague, em círculo, isótropo, etc. Outro ponto que deve ser alertado é quanto a similaridades entre as texturas, a exemplo do que ocorre entre células texturais do tipo losango e quadrado, cuja distinção vai depender da experiência e acuidade do radarintérprete.

A identificação da textura constitui o primeiro passo na radarinterpretação. Para que se trabalhe sempre com feições homogêneas, sugere-se que a delimitação das manchas seja feita primeiramente nas faixas de Radar (Canal Próximo ou Canal Remoto) e posteriormente seja transferida, por "estereoscopia", para o mosaico de Radar. Alerta-se para o fato que uma mesma feição do terreno mostra sempre textura distinta quando observada em canais distintos.



**Células Texturais**

- - Círculo
- △ - Trapézio
- △ - Triângulo
- ⬠ - Pentágono
- ◇ - Losango
- ⬡ - Hexágono
- - Quadrado
- ⚡ - Triângulo x Triângulo
- ▭ - Retângulo
- ⊙ - Círculo x Triângulo

**Classificação das Texturas**

- Muito grossa
- Grossa
- Média
- Fina
- Muito fina

**Padrão**

- Isótropo
- Linear
- Circular
- Ziguezague
- Misto

Figura 31 - Células Texturais versus Texturas

Sugere-se a utilização de grafite marrom no traçado das texturas no Calco.

A fim de ilustrar o conceito de textura radargráfica aqui aplicado, apresenta-se a Figura 32 como exemplo, a qual foi extraída da área modelo (Estampa 7). As convenções utilizadas são apresentadas na Legenda 2.



## Abreviaturas Utilizadas na Definição do Tom (minúsculas)

p - Preto

ce - Cinza-escuro

cc - Cinza-claro

c - Cinza

b - Branco

### 4.2 Tom Radargráfico

O Radar de Visada Lateral por ser um sensor ativo exibe característica tonal bem distinta dos sensores passivos, tanto os da faixa visível como do infravermelho (LANDSAT, KOSMOS, SPOT e Fotografias Aéreas). Tal fato é perfeitamente explicável em vista do tom relacionar-se diretamente à intensidade da reflexão de retorno (retrodifusão), dependendo de parâmetros do Sistema Radar, bem como de variáveis inerentes ao terreno que está sendo imageado.

Os parâmetros do Sistema Radar são:

- ângulo de depressão;
- polarização;
- comprimento de onda; e
- orientação da linha de vôo.

No que tange às variáveis do equipamento, merecem destaque as frequências e comprimentos de onda distintos do sistema de Radar: Good Year e Star (banda X), Westinghouse (banda K), ERS-1 da ESA (banda C) e SIR-A, SIR-B, SIR-C (Banda L). Na Figura 33 exemplifica-se o comportamento da onda de Radar na sua penetração na cobertura vegetal. Observa-se uma maior penetração nas bandas de maior comprimento de onda, no entanto quanto menor for este (bandas X e K) mais capacidade de detalhamento de feições do terreno terá o sistema de Radar (Cunha & Ford, 1986). O ângulo de depressão como exemplificado por Lima (1984), na comparação do SIR-A (banda L) e GEMS (banda X), também tem influência no retorno dos sinais. Lima (op. cit.) ressalta que a menor incidência de sombras no SIR-A é devida ao seu ângulo de depressão, contudo com menor resolução das feições no terreno em vista de seu comprimento de onda maior. Na Tabela 1 apresentam-se os diferentes parâmetros dos sistemas de Radar, com objetivo de compará-los.

Os principais parâmetros do terreno são:

- ângulos das pendentes voltadas ou não para a antena;
- ângulos de incidência/reflexão;
- constante dielétrica complexa;
- cobertura vegetal; e
- ângulo de depressão (Canais Próximo e Remoto).

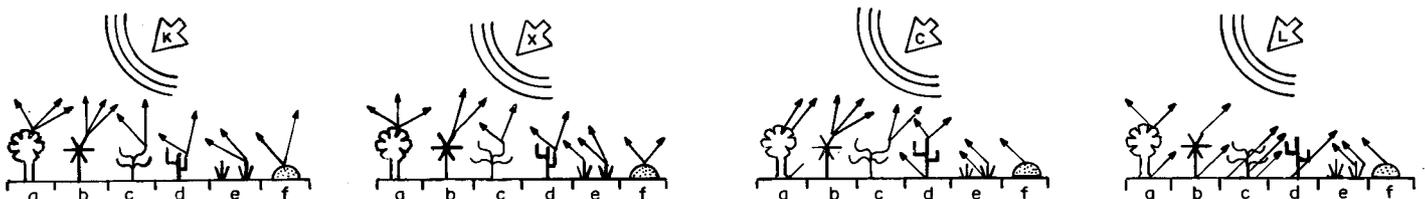
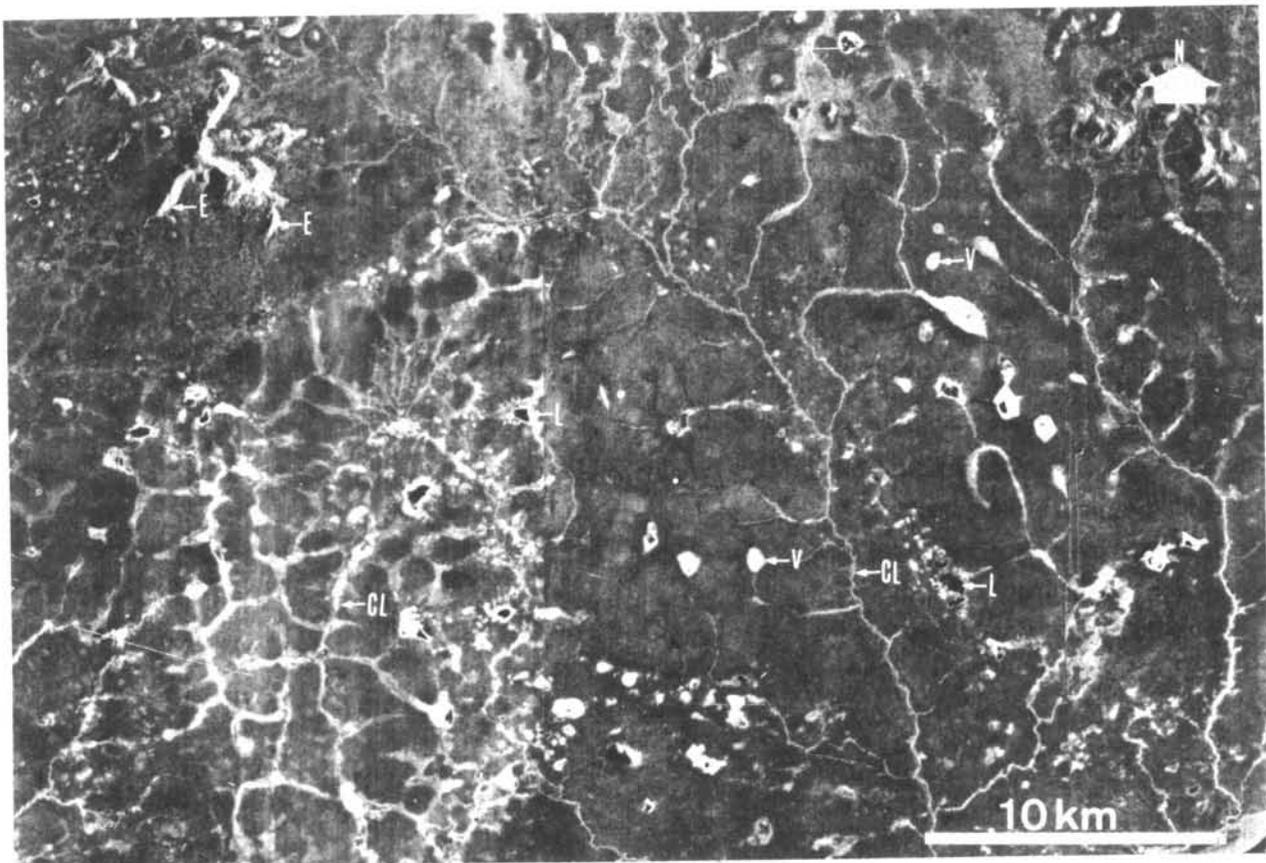


Figura 33 - Comprimentos de Onda e sua Penetração na Cobertura Vegetal.  
a- Floresta b- Palmeira c- Cerrado d- Caatinga e- Gramínea f- Morro sem vegetação

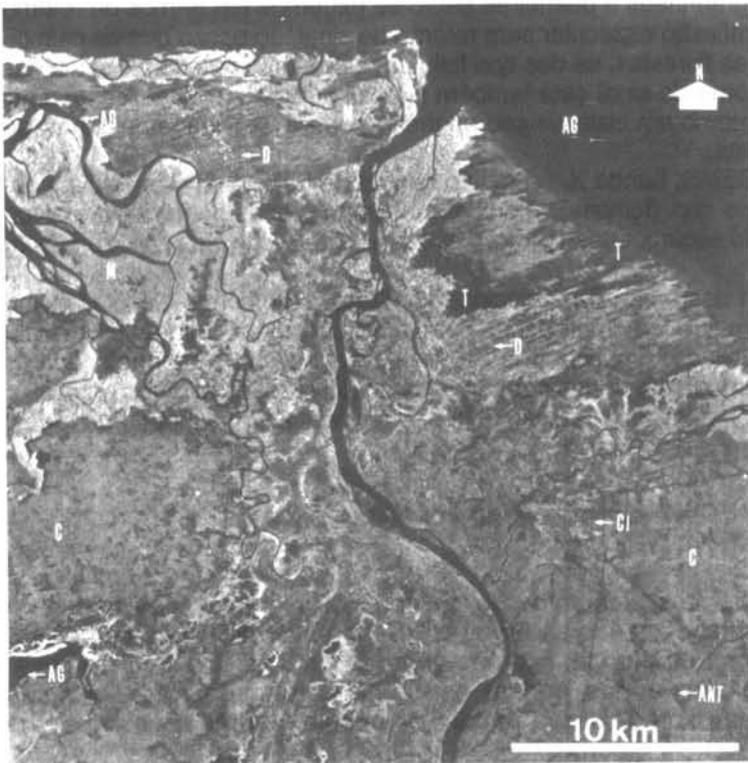
Considerando-se que os parâmetros de um mesmo sistema de Radar são constantes, a variação será unicamente com os parâmetros do terreno. Em linhas gerais, a tonalidade tem uma dependência essencialmente geométrica, uma vez que está ligada aos ângulos de incidência/reflexão, relativos à lei de Snell. Os tipos de reflexão mais comuns em imagens de Radar são: reflexão especular, reflexão de canto, reflexão frontal (aguda e obtusa), reflexão difusa e grazing (Figura 5). Na reflexão especular a energia da reflexão de retorno é totalmente perdida, aparecendo deste modo o tom preto na imagem. No outro extremo a reflexão de canto terá retorno de 100% da energia emitida, uma vez que, pelas suas relações geométricas, em qualquer posição que haja a incidência o retorno será total, sendo então o tom das imagens de Radar branco. Vale salientar que quando o ângulo de incidência for igual a  $0^\circ$  o retorno também será total, tendo como resultado o tom branco. Para este caso particular, recebe a denominação de reflexão frontal. No entanto, esta pode ser aguda ou obtusa, de acordo com o ângulo da pendente voltada para a antena. O caso mais comum de retorno será o de reflexão difusa, que de acordo com o maior ou menor retorno de energia fornecerá as tonalidades cinza-claro e cinza-escuro, respectivamente. A Figura 20 mostra com propriedade um tipo de terreno hipotético em que são exemplificados diversos tipos de reflexão. Deste exemplo, conclui-se que em regiões de terrenos planos ter-se-á uma gama maior de níveis cinza do que em regiões com relevo forte, devido às extensas sombras e reflexões frontais obtusa e aguda.

A Estampa 9 retrata a savana-parque disposta a Nordeste de Boa Vista, capital do Estado de Roraima, dominada por terreno plano, à exceção de sua porção setentrional. Em vista do tipo de vegetação dominante a tonalidade é cinza-escuro, com destaque para as matas ciliares (CL) e vegetação que cobre os lagos (V) com tom branco, em oposição ao tom preto dos lagos (L). Para norte o tom branco ressalta a reflexão frontal das pendentes (E).



Estampa 9 - Tom em Terreno Plano. Norte do rio Tacutu (Roraima). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha NA. 20-X-B. CL = matas ciliares; V = vegetação que cobre os lagos; L = lagos; E = encurtamento de pendentes. Vide explicações no texto.

A Estampa 10 retrata uma outra situação encontrada em terrenos planos, em especial na faixa costeira, foz do rio Parnaíba (MA/PI). Observa-se que o sensor RVL não teve a capacidade para discriminar em muitos trechos o limite terra(T)/água(AG), em vista de se tratar de superfícies planas. Por outro lado, destaque é dado para as vegetações de mangue(M), dunas(D) e vegetação do tipo cerrado(C), antropismo(ANT) e cidade de Parnaíba(CI). Por sua vez, no âmbito da planície de inundação do rio Parnaíba é marcante a presença de meandros abandonados em um tipo de padrão anastomótico.



Estampa 10 - Tom em Terreno Plano. Foz do rio Parnaíba (Maranhão/Piauí). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SA. 24-Y-A. T = continente; AG = água; C = vegetação do tipo Cerrado; ANT = antropismo, CI = cidade de Parnaíba; D = dunas; M = mangue. Vide explicações no texto.

O ângulo da pente vai influenciar substancialmente no sinal de retorno do Radar, como pôde ser observado nas Figuras 17 e 18. À medida que diminui o ângulo de incidência aumenta o sinal de retorno para um mesmo ângulo da pente. Por sua vez, para um ângulo de incidência constante, à medida que diminui o ângulo da pente diminui a energia de retorno. Por outro lado, o ângulo da pente, tanto aquela voltada para a antena como a não voltada, terá variações no grau de retorno.

A Constante Dielétrica Complexa constitui um fator cuja influência não apresenta muito significado em termos de tonalidades nas imagens de RVL, em que pese sua influência em regiões úmidas e secas. A constante dielétrica das rochas varia entre 3 e 8, ao passo que a água tem um valor de 80. Um aumento na constante dielétrica aumenta a refletividade da superfície.

À exceção de regiões desérticas, a grande maioria das regiões do mundo são cobertas por vegetação. Deste modo a vegetação influencia consideravelmente nos sinais de retorno, aliado ao fato de não existirem desertos em território brasileiro. A cobertura vegetal afeta o tom radargráfico, sendo que tal influência é melhor sentida em regiões planas ou levemente onduladas, com ausência de sombras ou, caso existentes, de comprimento restrito (Estampas 9 e 10). Por outro lado, como reflexão de retorno se dá na copa das árvores, pode-se entender que a geometria das folhas tem controle significativo no sinal de retorno como acontece com as palmeiras, cuja disposição assemelha-se a um refletor de canto, provocando destarte um retorno total. Em regiões equatoriais úmidas, a floresta traduz uma tonalidade cinza-claro nas imagens de RVL. Por sua vez, vegetações tipo caatinga e cerrado terão restrito retroespalhamento nas imagens de RVL em vista do pequeno porte de suas árvores, em especial a caatinga. Por outro lado, as regiões de parque terão tonalidade cinza-escuro a negro, em vista da dominância de vegetação rasteira (Estampa 9).

Devido à reflexão de retorno ocorrer nas copas das árvores, tem-se a impressão que o RVL retira a vegetação. No entanto, para melhor entender esse fato, sugere-se seja observado em um terreno plano o efeito das áreas com vegetação e as desmatadas (Estampa 10).

Ainda com respeito à vegetação, observa-se na Figura 34 o efeito do retroespalhamento das ondas de radar (banda X) sob diferentes tipos de espécies vegetais, as quais são distintas entre si pela disposição espacial das copas, como

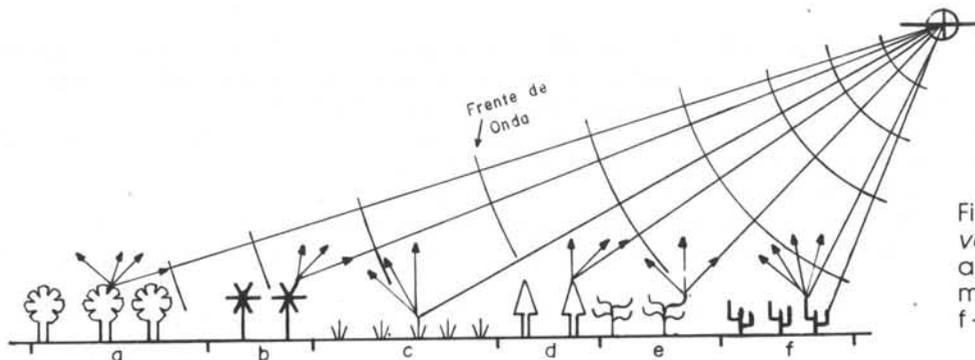


Figura 34 - Retroespalhamento versus Vegetação (Banda X). a - Folhosa b - Palmeira c - Gramínea d - Conífera e - Cerrado f - Caatinga

também pela densidade de folhas. Observa-se que as gramíneas e palmeiras serão os extremos em termos de retorno da reflexão. As gramíneas constituem o caso típico de reflexão especular sem retorno de sinal, ao passo que as palmeiras serão tipo refletor de canto, com retorno total. Para as florestas, as dos tipo folhosas terão uma resposta distinta das coníferas, em vista do formato de suas copas, cujo retorno do sinal está também relacionado à densidade de árvores. De outro modo as espécies de caatinga terão menor retorno em vista de seu pequeno porte e densidade de folhas, se comparados com as demais, com exceção das gramíneas.

Couto et al. (1978), utilizando imagens RVL da GEMS, banda X, na região central do Estado de São Paulo, conseguiram discriminar *Pinus spp.* (conífera) de *Eucalyptus spp.* (folhosa). A primeira absorve grande parte das ondas de Radar, porquanto de sua radargrafia em tons cinza muito escuro, quase preto. Por sua vez, o *Eucalyptus spp.* apresenta um tom muito claro.

O ângulo de depressão, como visto no Capítulo I deste trabalho, relaciona-se diretamente com o Canal Próximo (*Near Range*) e Canal Remoto (*Far Range*) e como corolário terá implicações no que concerne a ângulo de incidência, sombras, etc, fatores esses que irão influenciar na tonalidade. Em vista disso é que se sugere que a interpretação das texturas seja feita inicialmente nas "faixas de Radar", porquanto trabalha com ângulos de depressão próximos entre si.

Vide Figura 30 relativa à área-modelo (Estampa 7), para interpretação do tom, com relação à textura (Legenda 2).

## 5 Estádio Identificação

### 5.1 Forma, Estrutura e Padrão

Forma pode ser definida como arranjo espacial dos elementos de imagem, cuja organização fornece a idéia de feições do terreno, como morros, drenagem, etc. Quando as formas tiverem um controle geométrico definido recebem a denominação de Estrutura ou Forma Estruturada, isto é: estruturas circulares, estruturas lineares, estruturas planares, estruturas tabulares, etc. As formas podem ser bem estruturadas e fracamente estruturadas. Ao conjunto de estruturas denomina-se padrão, isto é: padrão de cristas, padrão de morros, padrão de drenagem, padrão de fraturas, etc.

Nas imagens RVL a morfologia constitui o principal parâmetro a ser analisado, daí o porquê ser comum o aparecimento de feições circulares, lineares, tabulares, elípticas, meia-lua, cônicas e outras associadas ao relevo, como também traços retilíneos, curvilíneos ou formas arborescentes ligadas às bacias hidrográficas.

Na interpretação radargeológica a identificação e pesquisa das formas de relevo e padrões de drenagem constituem um passo de grande importância no desenvolvimento da interpretação radargeológica.

### 5.2 Formas de Relevo

As formas de relevo, direta ou indiretamente, inter-relacionam-se com a litoestrutura geológica, conforme pode ser exemplificado em diversas regiões brasileiras em que os ambientes geológicos condicionam praticamente as formas de relevo. Assim sendo, pode-se observar que a presença de chapadões relaciona-se a seqüências sedimentares horizontais (Bacia Sedimentar do Maranhão/Piauí), da mesma forma que a ocorrência de cristas e vales associa-se a seqüências metassedimentares dobradas (região do Alto Paraguai-Mato Grosso), ou então a ocorrência de formas mamelonares e pães-de-açúcar referencia-se a complexos ígneos (Serra dos Órgãos-Rio de Janeiro) e assim por diante. Por conseguinte, para se proceder ao estudo das formas de relevo o primeiro passo é verificar a configuração de seus topos, pendentes e tipos de vales a que os mesmos se associam. Igualmente especial atenção deve ser dada a quebra de relevo e ao grau de dissecação.

Da relação das formas de relevo com a litoestrutura surge uma importante associação aqui denominada de "Litomorfoestrutura" a qual será enriquecida com o estudo dos padrões de drenagens.

Por sua vez, a "Litomorfoestrutura" terá forte dependência do clima, ou seja, certos litótipos podem ser resistentes à erosão em determinados climas, enquanto que em outros não. Como exemplo, cita-se o calcário que em condições de clima semi-árido mostra feições positivas, enquanto que em clima úmido não tem ressalto morfológico.

#### 5.2.1 Topo

Pela resolução especial fornecida pelo sensor RVL, quatro tipos de topo podem ser definidos: plano, côncavo, convexo e agudo. Obviamente, existirão situações em que poderá haver um tipo transacional entre os mesmos. Ademais, tanto os de topo agudo, côncavo e convexo podem ser abertos ou fechados (Figura 35).

Cuidados especiais devem ser tomados com respeito aos efeitos de sombra e encurtamento de Radar, na classificação dos topos, em vista da Geometria envolvida, como visto no Capítulo I.

Os morros de topo agudo, se tiverem expressão e extensão, podem compor cristas, as quais podem ser subdivididas em simétricas, ou fracamente e fortemente assimétricas. No caso de existir uma relação com a estrutura geológica, podem ser codinominadas *cuestas* e *hog back*, cujos principais elementos são: frente e reverso. Tais parâmetros serão discutidos mais adiante.

Na Estampa 11(a, b, c, d, e, f, g, h) apresentam-se oito exemplos ilustrando diferentes configurações de topo em RVL.

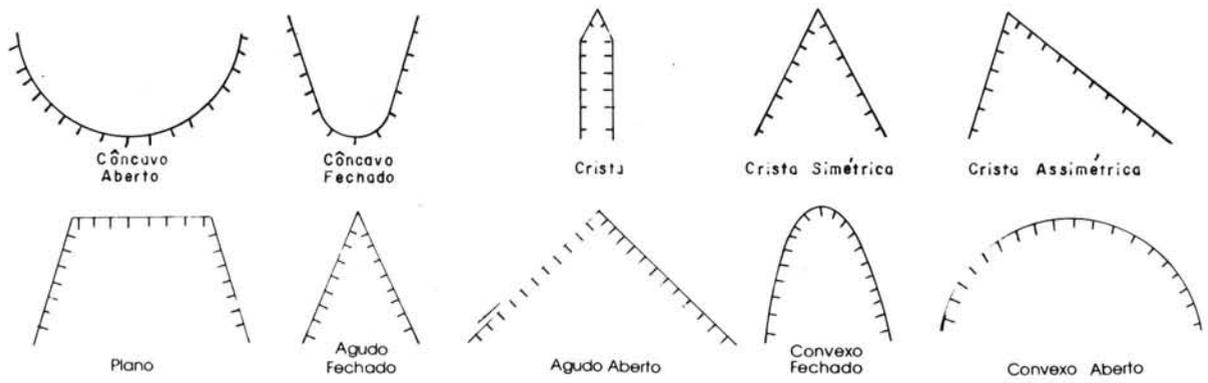
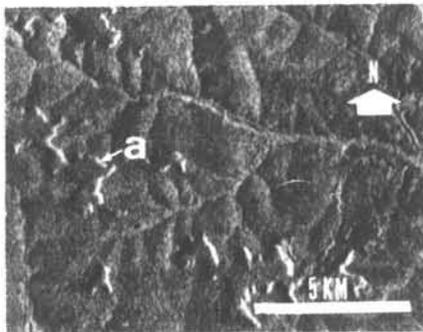
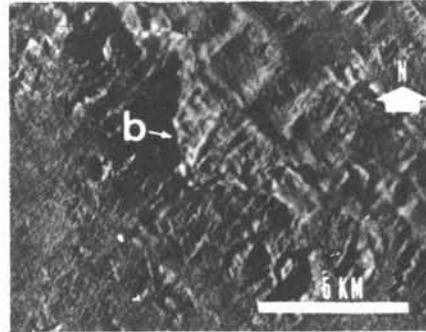


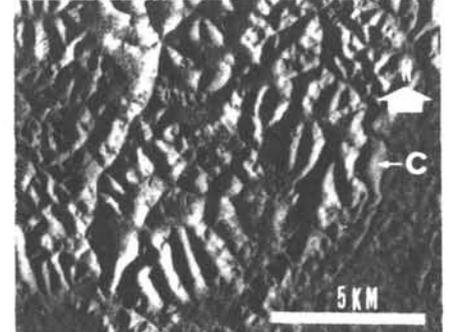
Figura 35 - Configuração dos Topos em RVL.



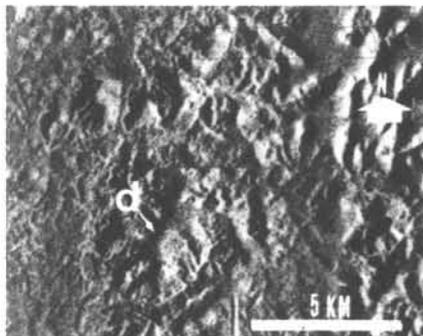
a) Topo Plano e Pente Escarpada (SA.21-X-C)



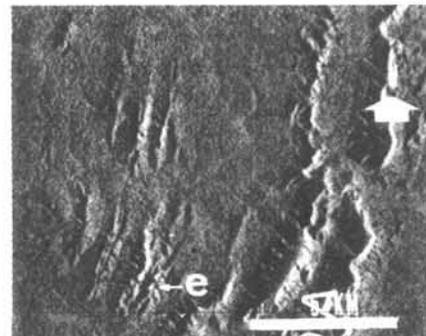
b) Topo Plano e Pente Pedimentada (SB.22-Z-A)



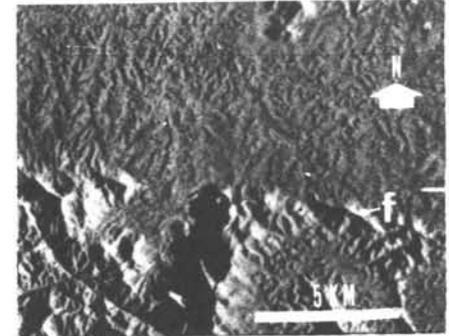
c) Topo Convexo e Pente Escarpada (SA.21-V-B)



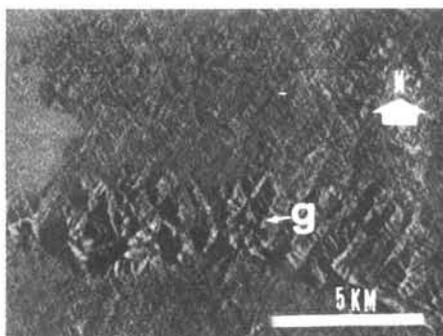
d) Topo Convexo e Pente Pedimentada (SB.22-Z-A)



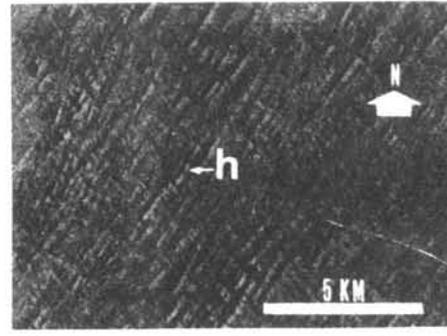
e) Topo Agudo e Pente Ravinada (SC.20-Z-A)



f) Topo Agudo e Pente Pedimentada (NA.19-Z-D)



g) Topo Agudo e Pente Ravinada (SB.22-X-C)



h) Topo Agudo e Pente Ravinada-Escarpada (SD.21-Z-C)

Estampa 11 a, b, c, d, e, f, g, h  
 Configurações de Topo e Pente. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Vide explicações no texto.

### 5.2.2 Pendente

Pelas próprias características do RVL, dificilmente ter-se-á uma visão perfeita do perfil de um morro, em virtude dos efeitos geométricos da sombra e encurtamento de Radar, como visto no Capítulo I. No entanto, para as pendentes oblíquas à antena, podem-se distinguir três tipos de vertentes: escarpada, ravinada e pedimentada. No primeiro caso, o perfil será retilíneo, que o distinguirá do último, que apresentará um perfil côncavo. Por outro lado, a encosta ravinada pontificará pela grande incidência de "ravinas", em vista da impermeabilidade do material que a compõe (Estampa 11).

### 5.2.3 Quebra de Relevo

A presença de uma descontinuidade de relevo em fotogeologia, de uma maneira genérica, sempre implica um relacionamento direto com a estrutura geológica: falhas, discordâncias, contato litológico, etc. Desse modo, aconselha-se sempre delinear as quebras de relevo, mesmo se considerando sua posição relativa, a fim de posteriormente estabelecer suas relações no terreno.

### 5.2.4 Grau de Dissecação

Classifica-se neste trabalho o grau de dissecação de uma região em três tipos principais: alto, médio e baixo. A observação de tais níveis de dissecação por agentes erosivos pode estar ligada a fatores climáticos, tectônicos ou então a uma conjugação desses. Sua análise poderá ser feita em conjunto com os elementos da drenagem e será de grande valia na análise das formas de relevo.

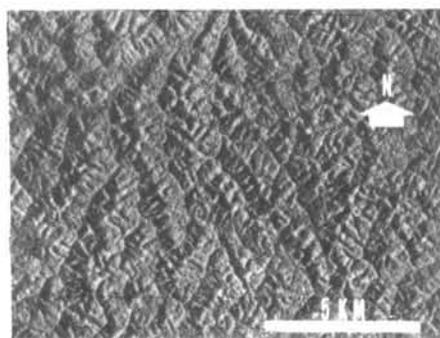
Nascimento & Prates (1976), no levantamento geomorfológico da Folha NA.19 - Pico da Neblina para o Projeto RADAMBRASIL, implantaram importantes modificações na representação das formas dissecadas, através da colocação de dois dígitos. O primeiro se referindo à extensão da forma e, o segundo, ao aprofundamento da drenagem, referidos como "Índices de Dissecação". Entretanto, para a presente metodologia preferiu-se dar uma conotação mais simplista na avaliação do grau de dissecação. Utilizar-se-ão dois parâmetros: o primeiro, com relação à forma do vale, e, o outro no espaçamento entre os mesmos. Como referencial a tais parâmetros apresenta-se a Tabela 4.

Tabela 4

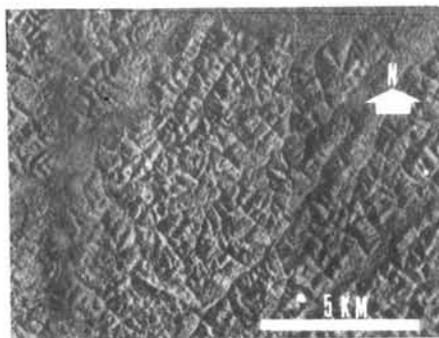
#### ÍNDICES DE DISSECAÇÃO

Interflúvio/ Vale	1,75-2,5 km	1,00-1,75 km	<1,0 km	Grau de Dissecação
Encaixado	11	21	31	Baixo
Transição	12	22	32	Médio
Fundo Chato	13	23	33	Alto

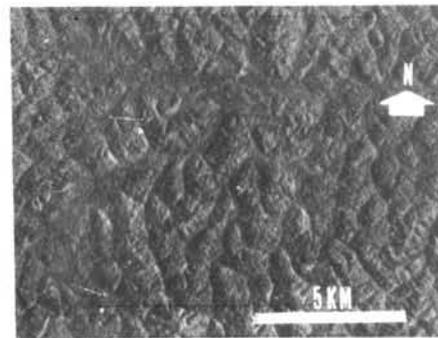
Consoante os índices de dissecação determinados pela Tabela 4, pode-se qualificar de forma bem generalizada o grau de dissecação de uma região em baixo, médio e alto. Nas Estampas 12 (a, b, c, d, e, f) e 13 (a, b, c, d, e, f) procura-se exemplificar, sob a forma de estampas, os conceitos aqui introduzidos.



a) Baixo-Médio

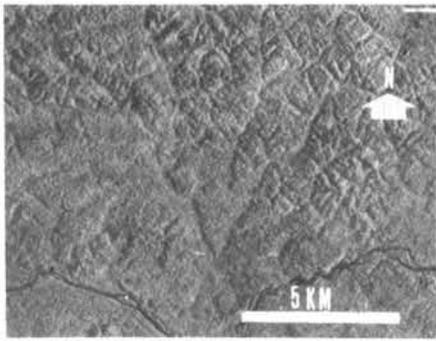


b) Baixo-Médio

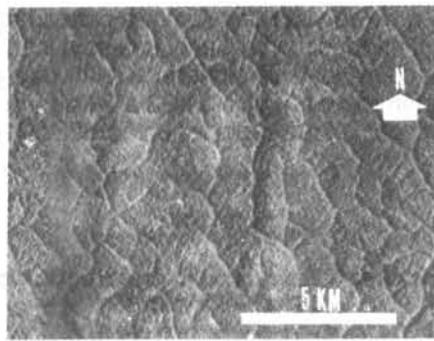


c) Médio

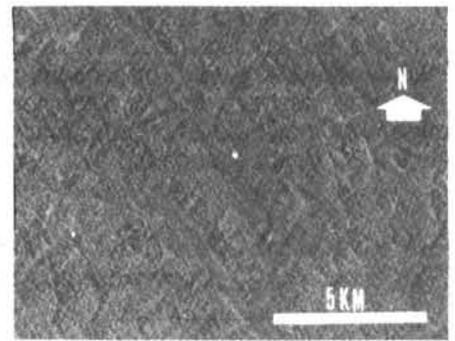
Estampa 12 a, b, c, d, e, f - Grau de Dissecação. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SB. 22-X-C.



d) Médio-Alto



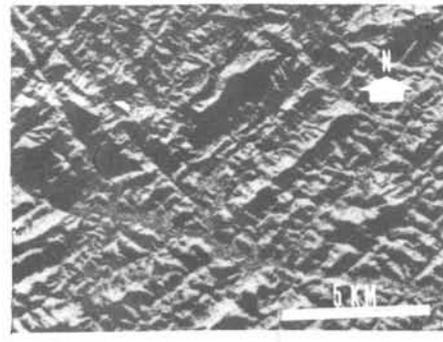
e) Alto-Médio



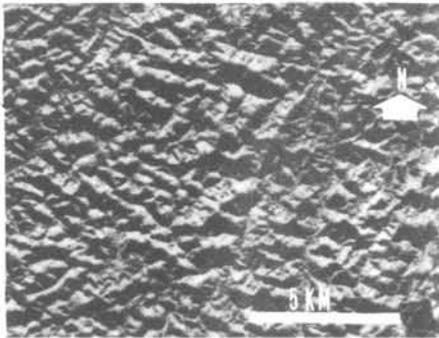
f) Alto



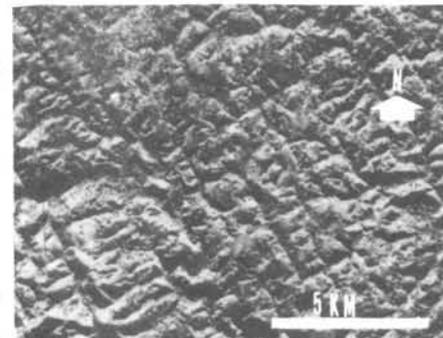
a) Baixo



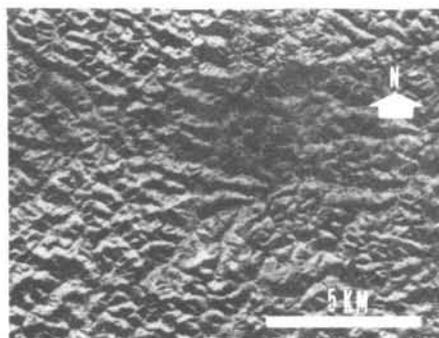
b) Baixo-Médio



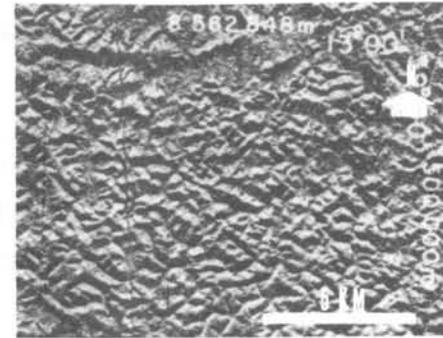
c) Médio



d) Médio-Alto



e) Alto-Médio



f) Alto

Estampa 13 a, b, c, d, e, f - Grau de Dissecação. Imagem RVL-GEMS. Banda X, 1971/1972. Folha SD. 24-V-D.

De outro modo, tais índices de dissecação servirão de referência para a forma de topo dominante em uma determinada região. Por conseguinte, caso o topo seja principalmente plano, usa-se a letra p acrescida dos índices, isto é: p13. Após análise relativa ao grau de dissecação, pode-se estabelecer em termos relativos o grau de resistência à erosão dos litótipos.

Para ilustrar o que foi discorrido, obtém-se um índice de 22 a 23 para a Estampa 12e, ao passo que para a 13a tem-se um índice de 21. Para o primeiro caso, o topo é plano, então p22-23, enquanto que para este último é agudo, isto é a 21. Vide Legenda 3.

### Legenda 3

#### Convenções e Abreviaturas Utilizadas na Interpretação das Formas de Relevo (Grafite Marrom)

1 - Quebra de Relevo		— Abrupta
		- - - Gradativa
2 - Topo		Plano (p)
Agudo (a)		— — — Morros
		— — — Crista Ind.
		+ + + + + Crista Sim.
		▲ ▲ ▲ ▲ Crista Assim.
		+ + + + + Convexo (cx)
	..... Côncavo (cv)	
3 - Pendente		
		Escarpada
		Ravinada
		Côncava
		Mista
4 - Vale		
		Encaixado
		Fundo Chato
		Transição
5 - Outros		
		Caimento
		Depressão
		Elevação

6 - Grau de Dissecação

$\Delta_a$  Alto

$\Delta_m$  Médio

$\Delta_b$  Baixo

7 - Índice de Dissecação

$P_{11}$

$m_{12}$

$cv_{23}$

8 - Resistência à Erosão

$\xi_a$  Resistente

$\xi_m$  Resistência Média

$\xi_b$  Pouco Resistente

A Figura 36 retrata as formas de relevo interpretadas conforme a Área Modelo (Estampa 7).

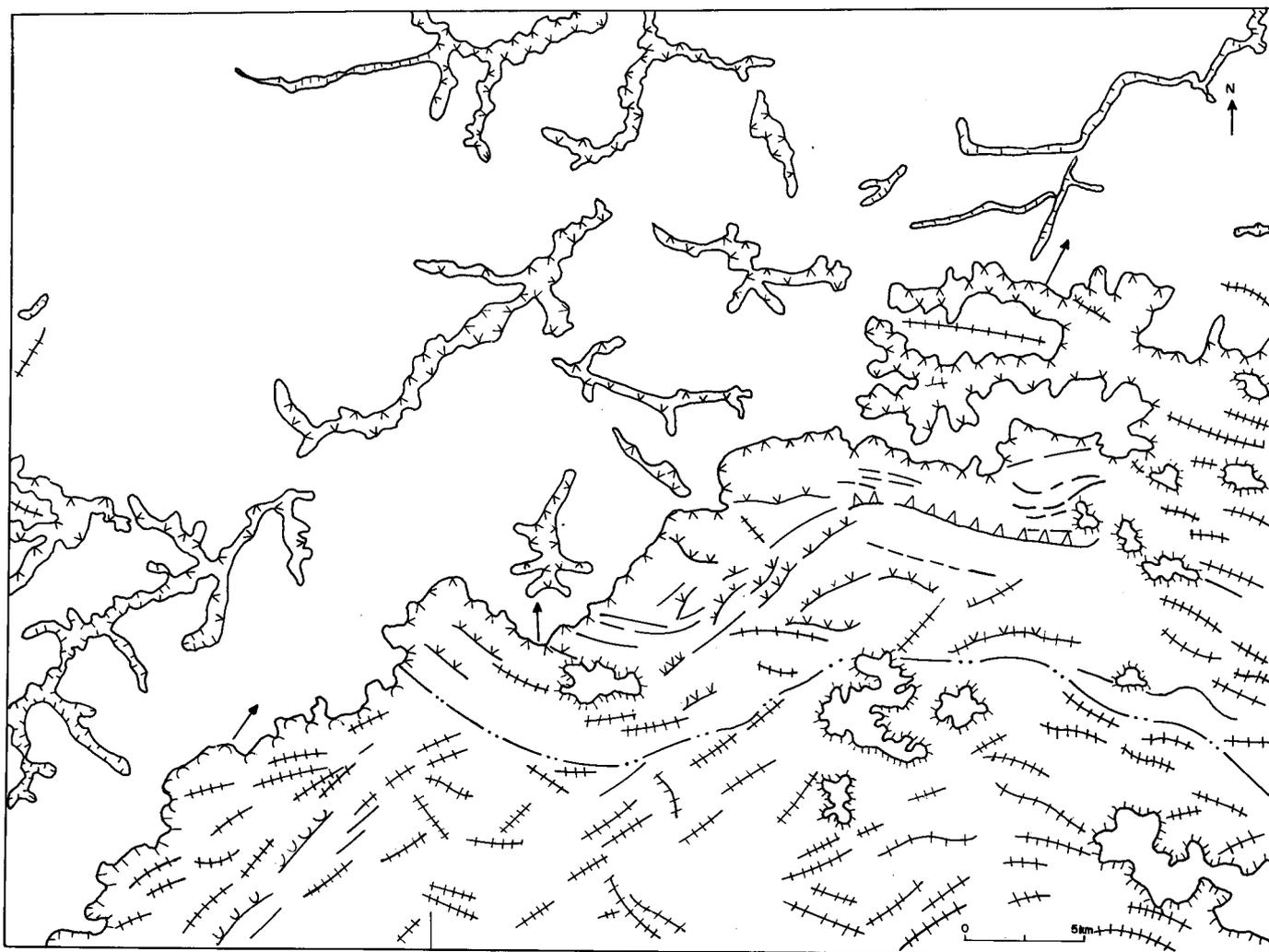


Figura 36 - Formas de Relevo. Folha - SD. 24-Y-C (Cf. Estampa 7).

### 5.3 Padrão de Drenagem

Drenagem é aqui definida como uma feição linear negativa, produzida por água de escorrência, que modela a topografia de uma região. Ao conjunto de drenagens ou cursos de água dá-se o nome de padrão (Tabela 5), que, de acordo com sua configuração espacial, são chamados de Padrões de Drenagens Básicos, a saber:

- 1 - Dendrítico - Lembra uma castanheira pelo aspecto arborescente de sua copa (Figura 37 a).
- 2 - Paralelo - Assim chamado pelo paralelismo de suas drenagens (Figura 37 b).
- 3 - Trelíça - Constitui um padrão caracterizado por drenagem subsequente bem desenvolvida, com tributários nos lados opostos de aproximadamente mesmo tamanho (Figura 37 c).
- 4 - Retangular - Tipificado pela geometria angular de suas drenagens (Figura 37 d).
- 5 - Radial - Caracterizado pela geometria radial (Figura 37 e).
- 6 - Anelar - Caracterizado pela geometria circular (Figura 37 f).
- 7 - Multibasinal - Tipificado pela presença de pequenas depressões (Figura 37 g).
- 8 - Contorcido - Retratado pela sua forma contorcida (Figura 37 h).
- 9 - Complexo - Tipifica-se pela grande mistura de padrões, dando como resultado tipos complexos (Figura 38 e); e
- 10 - Palimpsesto - Constitui pretéritas drenagens, atualmente superimpostas por padrões mais novos (Figura 38 g e h).

Os padrões modificados são mostrados nas Figuras 38 (a, b, c, d, e, f, g, h) e 39 (a, b, c, d, e, f, g, h) e estão descritos na Tabela 5.

Tabela 5  
ANÁLISE DA DRENAGEM NA INTERPRETAÇÃO GEOLÓGICA  
(MOD. HOWARD, 1976)

BÁSICO	SIGNIFICADO	MODIFICADO	OBSERVAÇÕES
Dendrítico	Rochas homogêneas de caráter sedimentar ou ígneo. Rochas sedimentares estratificadas horizontais .	Subdendrítico Pinado Anastomótico Distributário	Fraco controle estrutural. Material argiloso facilmente erodível. Planícies de inundação deltas e zonas de marés (mangues). Leques aluviais e deltas.
Paralelo	Geralmente indica caimento do terreno (topográfico ou estrutural).	Subparalelo Colinear	Fraco caimento. Dunas <i>seif</i> ou longitudinal
Trelíça	Seqüências dobradas; fraturas paralelas; cordões fluviais e litorâneos .	Subtrelíça Trelíça Direcional Trelíça Recurvada Trelíça Fratura	Feições subpararelas Homoclinal. Nariz de dobras Juntas ou falhas.
Retangular	Juntas e falhas em ângulos retos .	Angular	Juntas e falhas em ângulos oblíquos.
Radial	Vulcões, domos e estruturas circulares em geral.	Centrípetro Centrífugo	Crateras, caldeiras, etc. Astroblemas, domos, etc.
Anelar	Domos, bacias, diastemas e bossas. Estruturas circulares em geral ( <i>stocks</i> ).		A distinção entre domo e bacia será feita pela drenagem subsequente.
Multibasinal	Inclui todas as depressões de origem definida ou não.	Glacial	Erosão glacial e/ou deposição. Calcários. Dolomitos. Planície costeira e deltas .
Contorcida	Rochas metamórficas dobradas .		As drenagens na zona periclinal indicam se o fechamento é de caráter sinclinal ou anticlinal.
Complexa	Associação de vários padrões .		
Palimpsesto	Drenagem pretérita.		

As drenagens menos significativas de uma área são as de ordem menor, as quais vão compor as de ordem mais elevadas. Por exemplo, duas drenagens de 1ª ordem formam uma de 2ª ordem e assim por diante (Stralher, 1952).

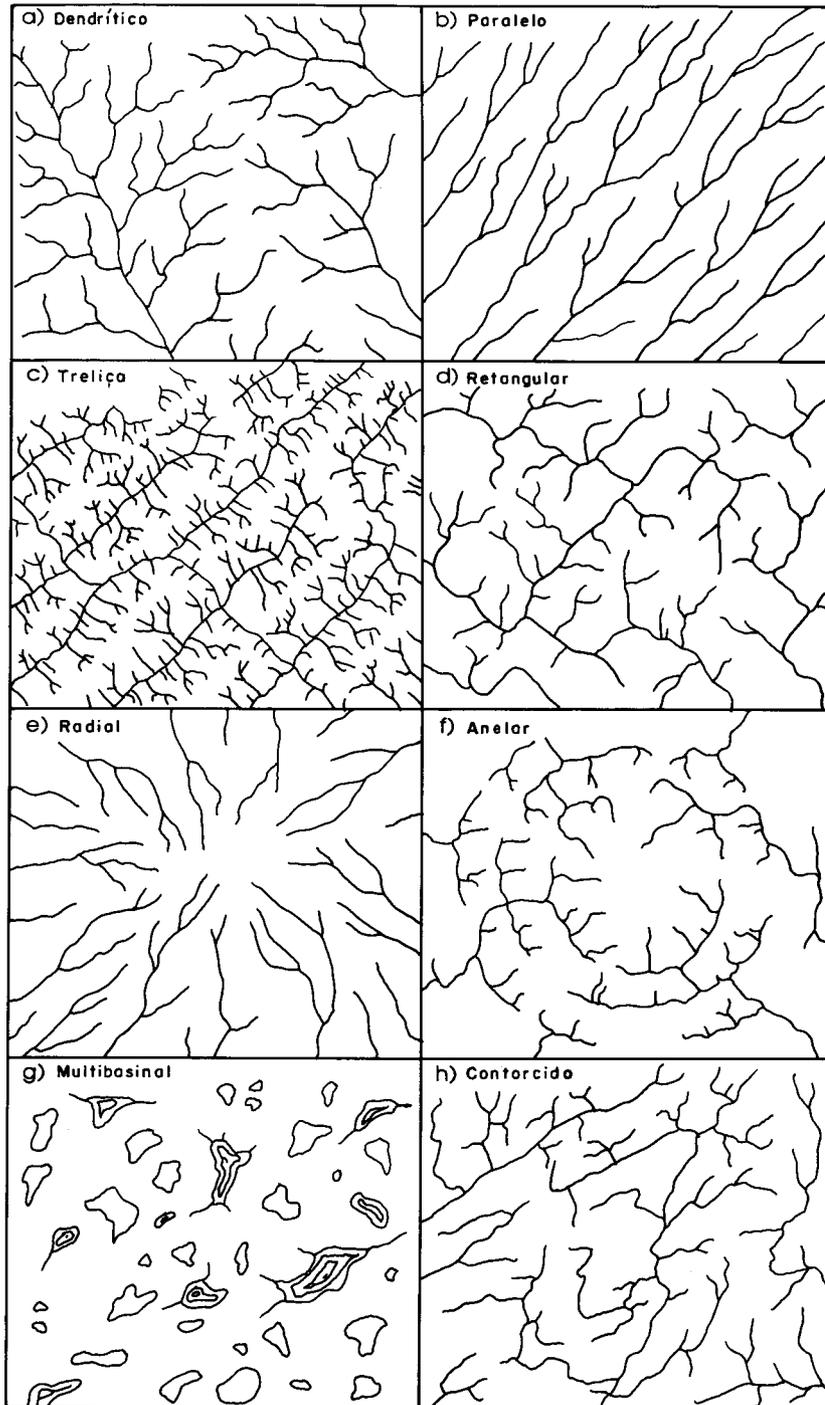


Figura 37 a, b, c, d, e, f, g, h - Padrões de Drenagens Básicos (Howard, 1967).

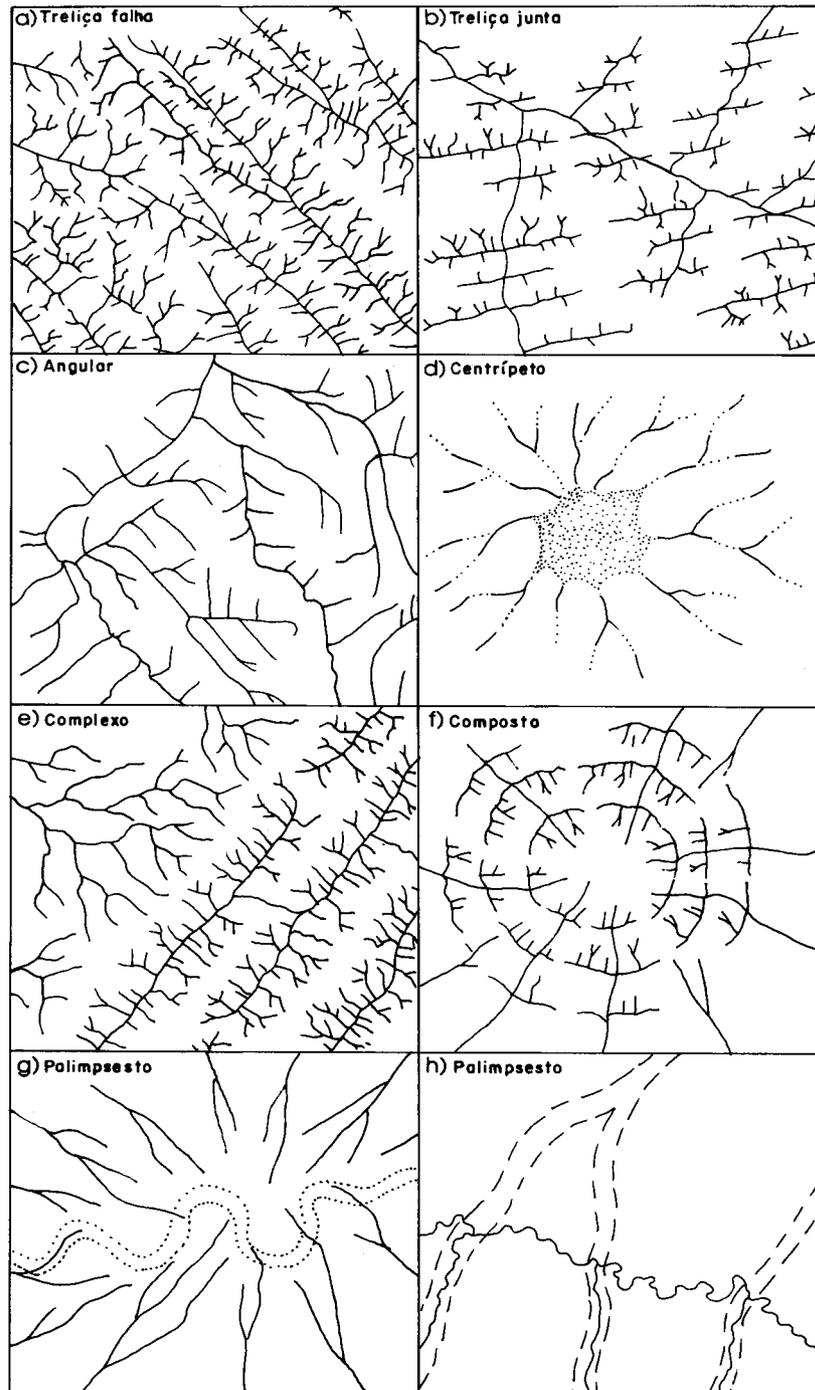


Figura 38 a, b, c, d, e, f, g, h - Padrões de Drenagens Básicos Modificados (Howard, 1967).

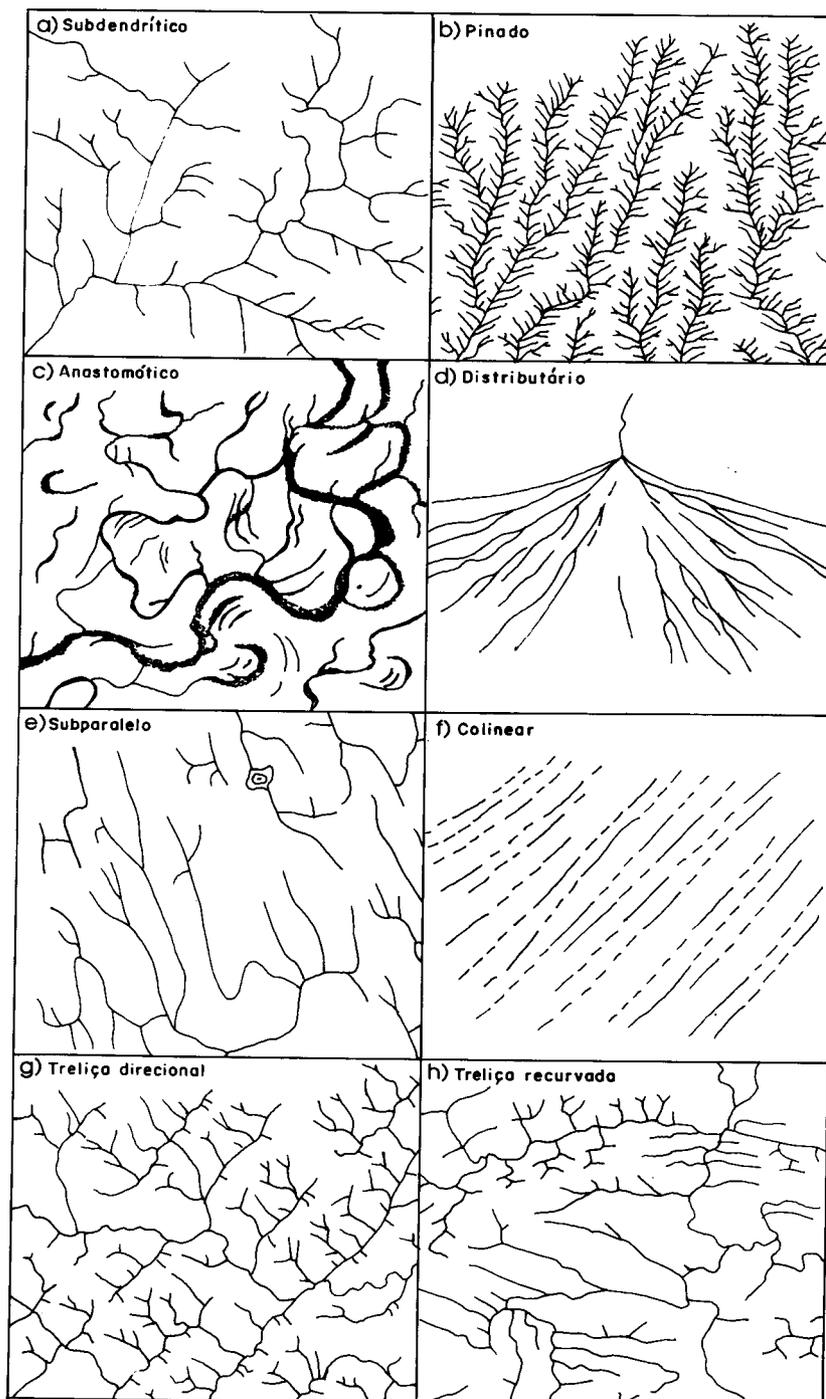


Figura 39 a, b, c, d, e, f, g, h - Padrões de Drenagens Básicos Modificados (Howard, 1967).

Nas imagens de RVL da GEMS, que recobrem o território brasileiro, não se pode delinear totalmente a drenagem de determinadas regiões, em vista da ambigüidade provocada pela baixa resolução espacial do sensor Radar. Deste modo, sugere-se o traçado de drenagens de 5ª, 4ª e 3ª ordens para se obter informações dos padrões de drenagens. Geralmente tais situações ocorrem em regiões com alta densidade de drenagem, encaixada em relevos fortes. Por outro lado, para relevos fracos a médios é possível o traçado total da drenagem (Legenda 4).

#### Legenda 4

##### Convenções e Abreviaturas Utilizadas na Interpretação da Drenagem (Grafite Verde)

##### 1 - Quanto à Estrutura Geológica

c - Conseqüente

s - Subseqüente

r - Reseqüente

o - Obseqüente

##### 2 - Quanto à Ordem

1 - Primeira Ordem

2 - Segunda Ordem

##### 3 - Quanto à Densidade

6a - Alta

6m - Média

6b - Baixa

##### 4 - Quanto ao Grau de Integração

⌒a - Alto

⌒m - Médio

⌒b - Baixo

##### 5 - Outros

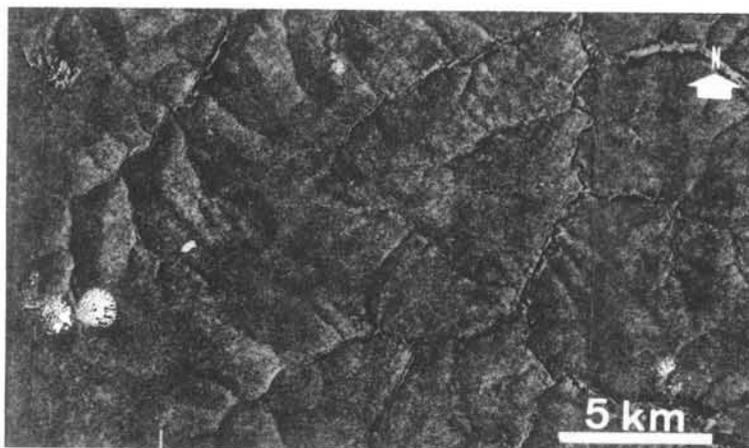
⇨ Tropia

⊞⇨ Assimetria

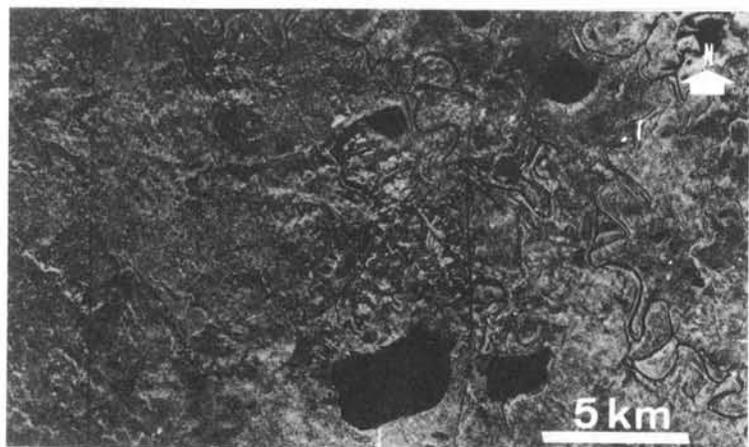
⇨ Sinuosidade

⇨⇨ Alinhamento de Drenagem

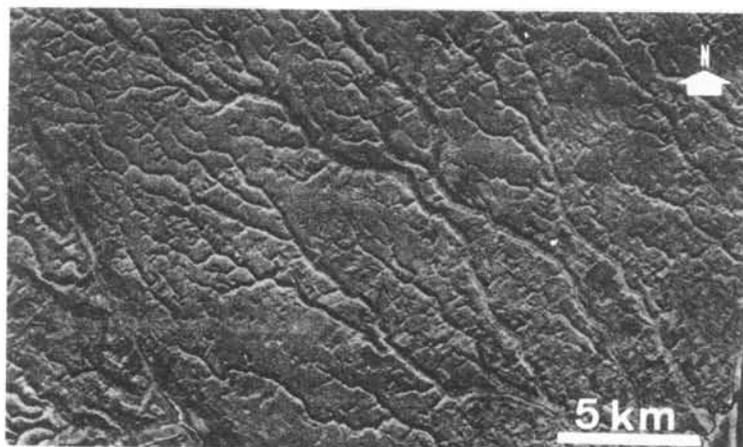
Objetivando dar uma conotação essencialmente prática aos estudos dos padrões de drenagens selecionaram-se nove estampas (Estampas 14 a 22) e respectivas figuras (Figuras 40 a 48), a fim de mostrar a representatividade dos padrões na imagem RVL. As figuras apresentam, além do traçado da drenagem, fruto da interpretação das estampas, representações alfanuméricas indicativas do tipo litológico do terreno: S (sedimentar), I (ígnico) e M (metamórfico). Dentro dessa filosofia, procurou-se ilustrar os seguintes padrões: Dendrítico (Figura 40; Estampa 14), Dendrítico Modificado - Anastomótico (Figura 41; Estampa 15), Paralelo (Figura 42; Estampa 16), Treliça (Figura 43; Estampa 17), Treliça e Retangular (Figura 44; Estampa 18), Distributário e Retangular (Figura 45; Estampa 19), Multibasinal (Figura 46; Estampa 20), Retangular (Figura 47; Estampa 21) e Anelar (Figura 48; Estampa 22).



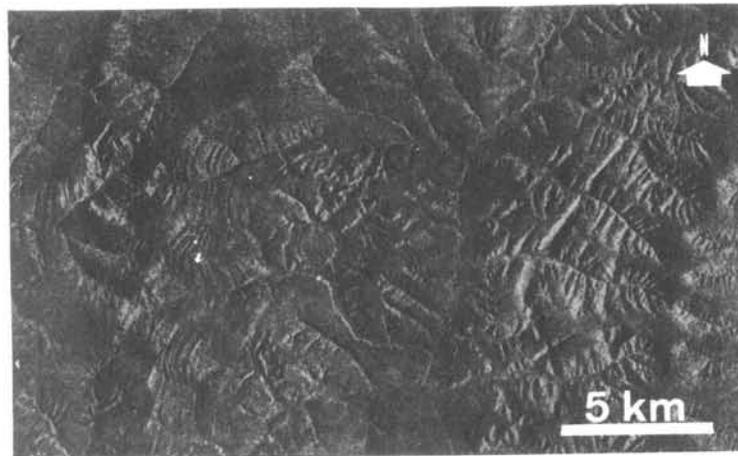
Estampa 14 - Padrão de Drenagem Dendrítico. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SC.23-Y-A.



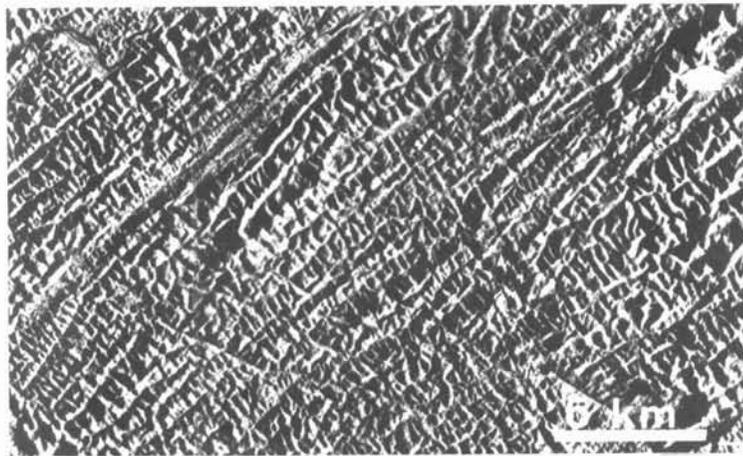
Estampa 15 - Padrão de Drenagem Anastomótico. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SE. 21-V-B.



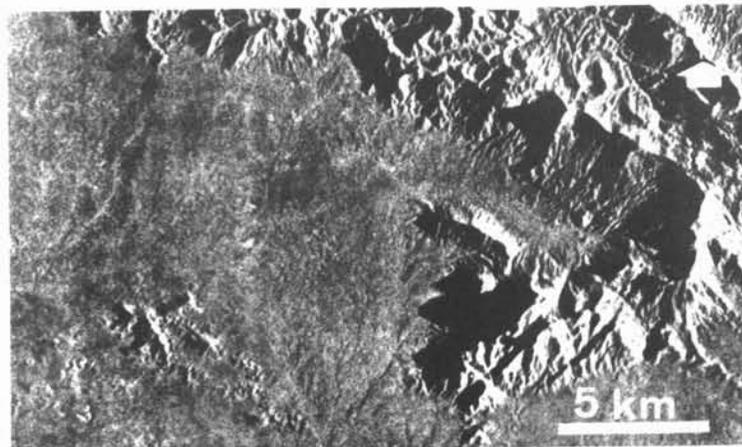
Estampa 16 - Padrão de Drenagem Paralelo. Imagem RVL- GEMS, Banda X, 1971/1972. SE.24-V-B.



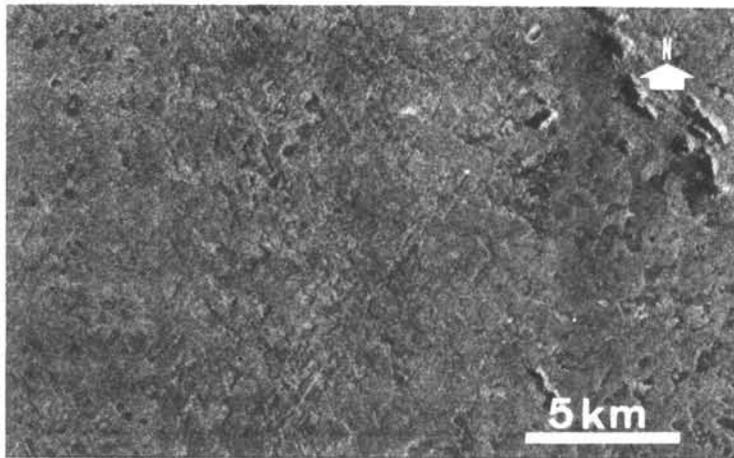
Estampa 17 - Padrão de Drenagem Trelíça. Imagem RVL- GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD. 23-Z-D.



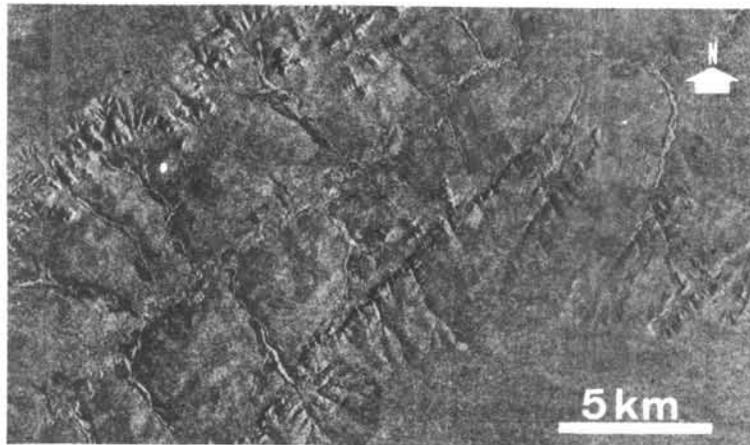
Estampa 18 - Padrões de Drenagem Trelíça e Retangular. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SF. 23-Z-A.



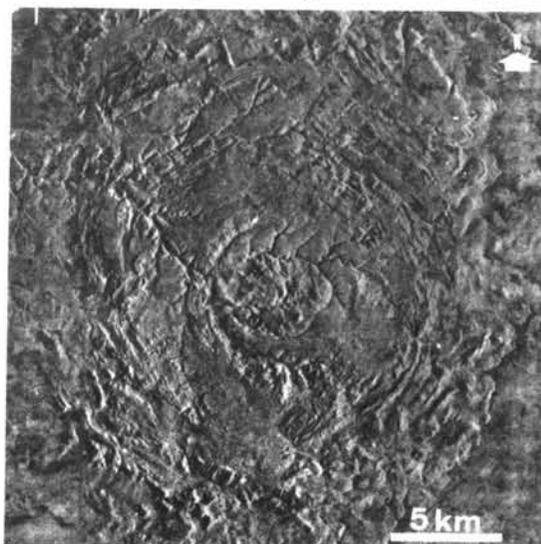
Estampa 19 - Padrões de Drenagem Distributário e Retangular. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha NA. 19-Z-D.



Estampa 20 - Padrão de Drenagem Multibasinal. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD. 23-X-D.



Estampa 21 - Padrão de Drenagem Retangular. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD. 23-Y-B.



Estampa 22 - Padrão de Drenagem Anelar. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SD. 24-V-C.

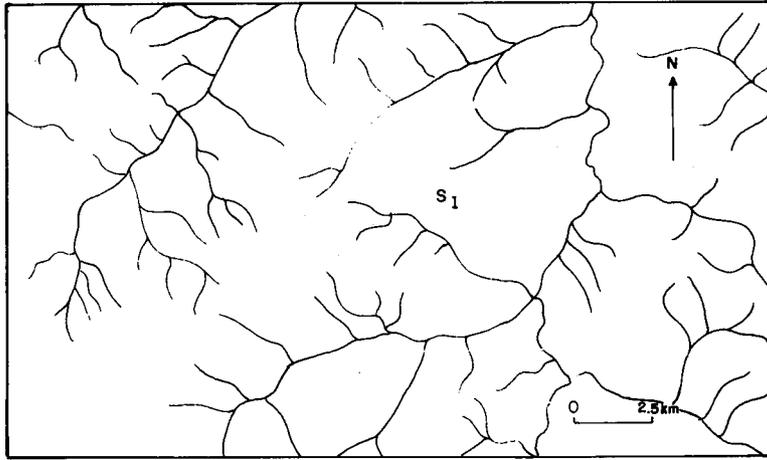


Figura 40 - Padrão de Drenagem Dendrítico. Folha SC.23-Y-A (Cf. Estampa 14).

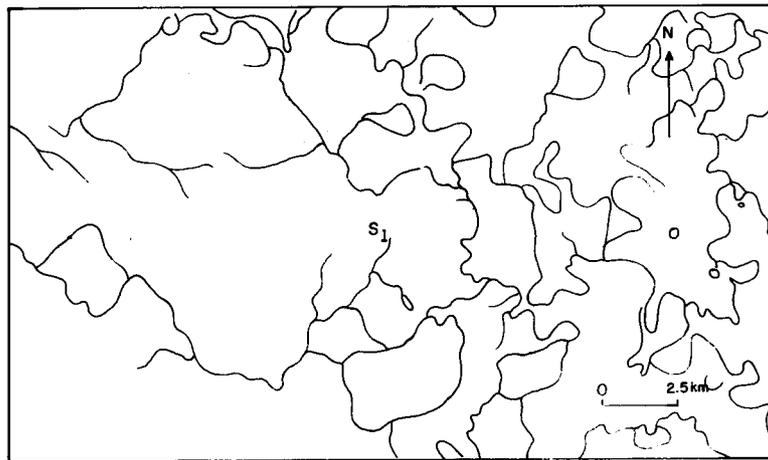


Figura - 41 Padrão de Drenagem Anastomótico. Folha SE.21-V-B (Cf. Estampa 15).

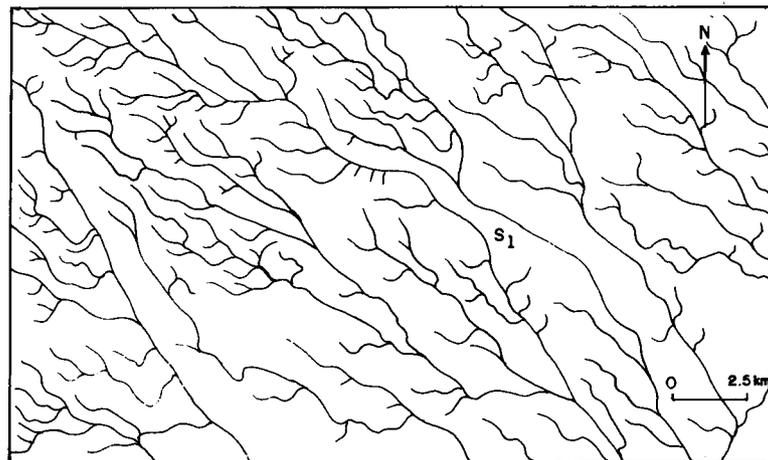


Figura - 42 Padrão de Drenagem Paralelo. Folha SE.24-V-B (Cf. Estampa 16).



Figura 43 - Padrão de Drenagem Treliça. Folha SD.23-Z-D (Cf. Estampa 17).

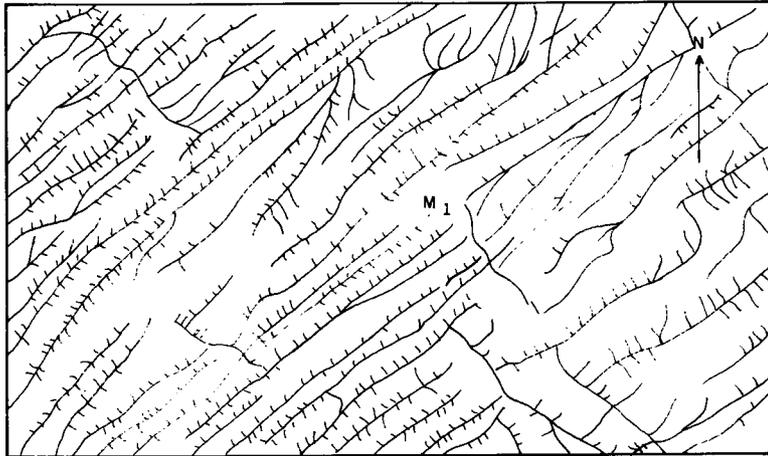


Figura 44 - Padrões de Drenagem Treliça e Retangular. Folha SF.23-Z-A (Cf. Estampa 18).

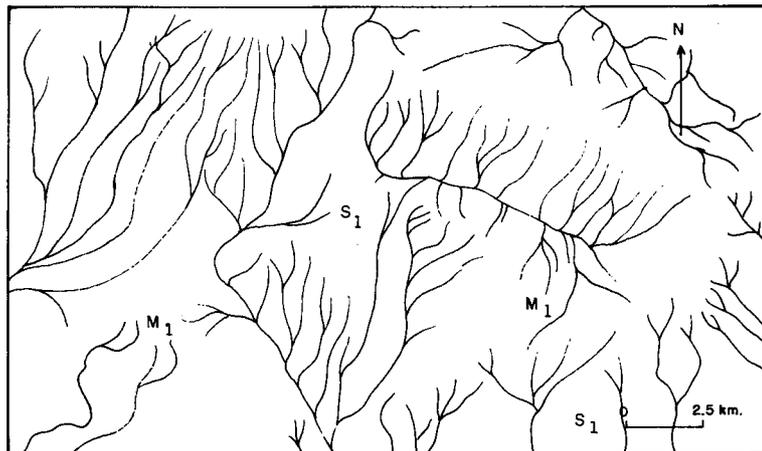


Figura 45 - Padrões de Drenagem Distributário e Retangular. Folha NA.19-Z-D (Cf. Estampa 19).

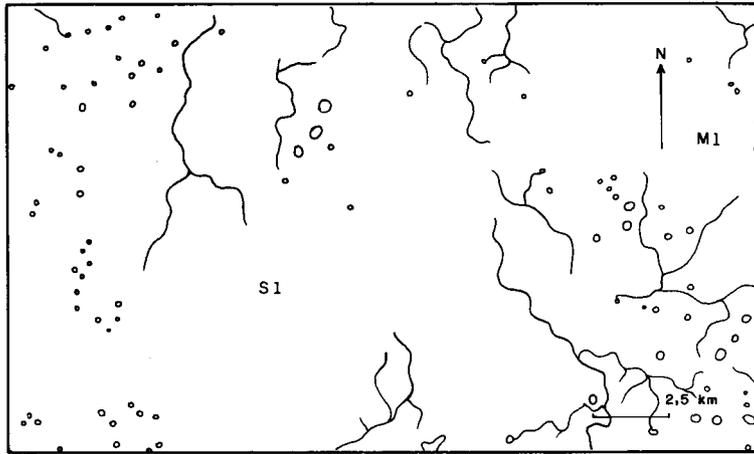


Figura 46 - Padrão de Drenagem Multibasinal. Folha SD.23-X-D (Cf. Estampa 20).

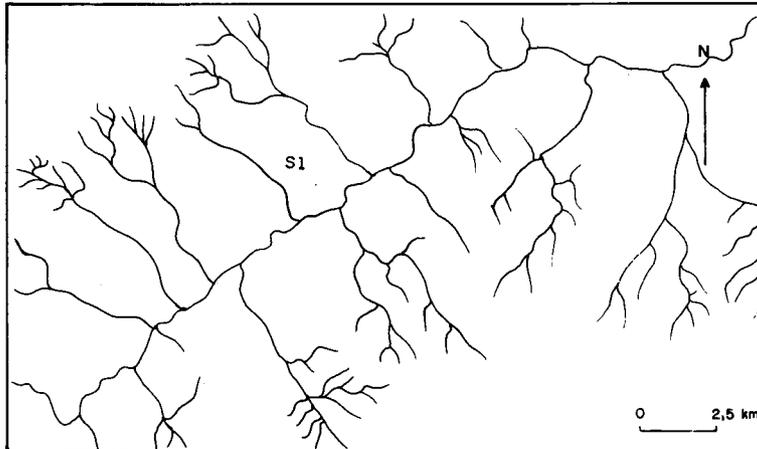


Figura 47 - Padrão de Drenagem Retangular. Folha SD.23-Y-B (Cf. Estampa 21).

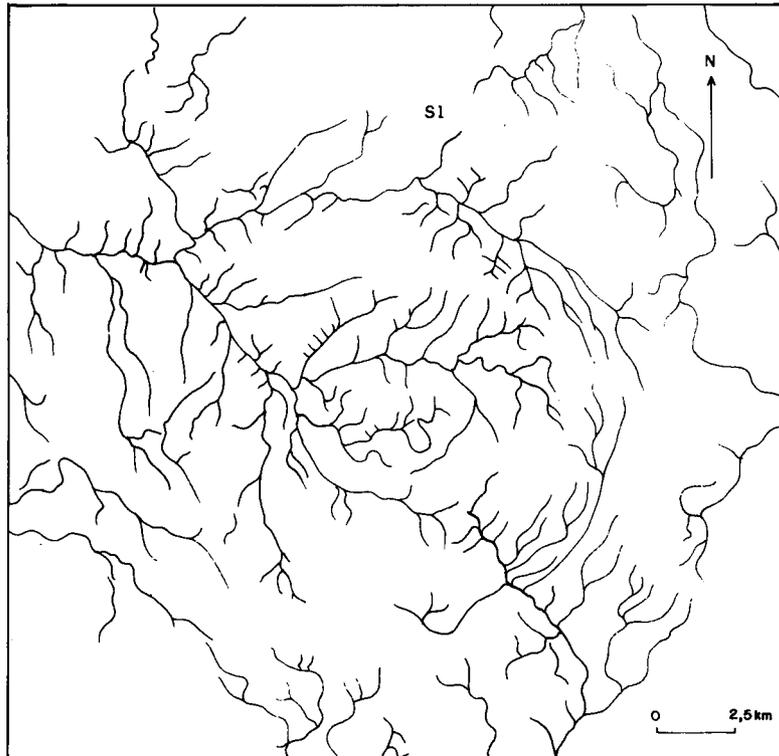


Figura 48 - Padrão de Drenagem Anelar. Folha SD. 23-V-C (Cf. Estampa 22).

A drenagem de determinada região sofrerá influência dos seguintes fatores:

- condições climáticas;
- formas de relevo;
- estrutura geológica;
- composição das rochas;
- aspectos físicos das rochas;
- solos;
- vegetação; e
- ação antrópica.

Segundo Lueder (1959), os principais parâmetros que devem ser estudados nos Padrões de Drenagens são (Figura 49):

- grau de integração;
- densidade;
- tropia;
- grau de controle;
- sinuosidade;
- angularidade;
- ângulo de junção; e
- assimetria.

A seguir faz-se uma descrição sumária de cada parâmetro.

Grau de Integração compreende a perfeita interação entre as drenagens, cujo percurso deverá ser simples, lógico e pouco contorcido. Fornece informações sobre:

- permeabilidade;
- porosidade;
- topografia;
- grau de dissolução das rochas; e
- erodibilidade.

Densidade constitui o número de drenagens por unidade de área. Através da densidade obtém-se dados sobre:

- permeabilidade;
- porosidade; e
- condições climáticas.

Tropia indica se o padrão de drenagem está orientado, informando a respeito da estruturação das rochas e seu caráter tectônico ou não.

Grau de Controle constitui um complemento do parâmetro anterior, mostrando o grau de estruturação.

Sinuosidade, Angularidade e Ângulo de Junção relacionam-se com a geologia estrutural de uma determinada área, sendo que os ângulos agudos indicam ausência de controle, enquanto que os retos mostram a presença de forte controle estrutural. Por outro lado, o obtuso pode indicar inversão de caimento da drenagem (drenagem barbada).

Assimetria é um parâmetro de grande relevância por indicar o caimento do terreno e/ou das estruturas planares primárias ou secundárias.

Os cursos de água podem ser classificados em relação à estrutura geológica em (Figura 50):

- conseqüentes;
- subseqüentes;
- reseqüentes;
- obseqüentes;
- inseqüentes;
- superimpostos; e
- antecedentes.

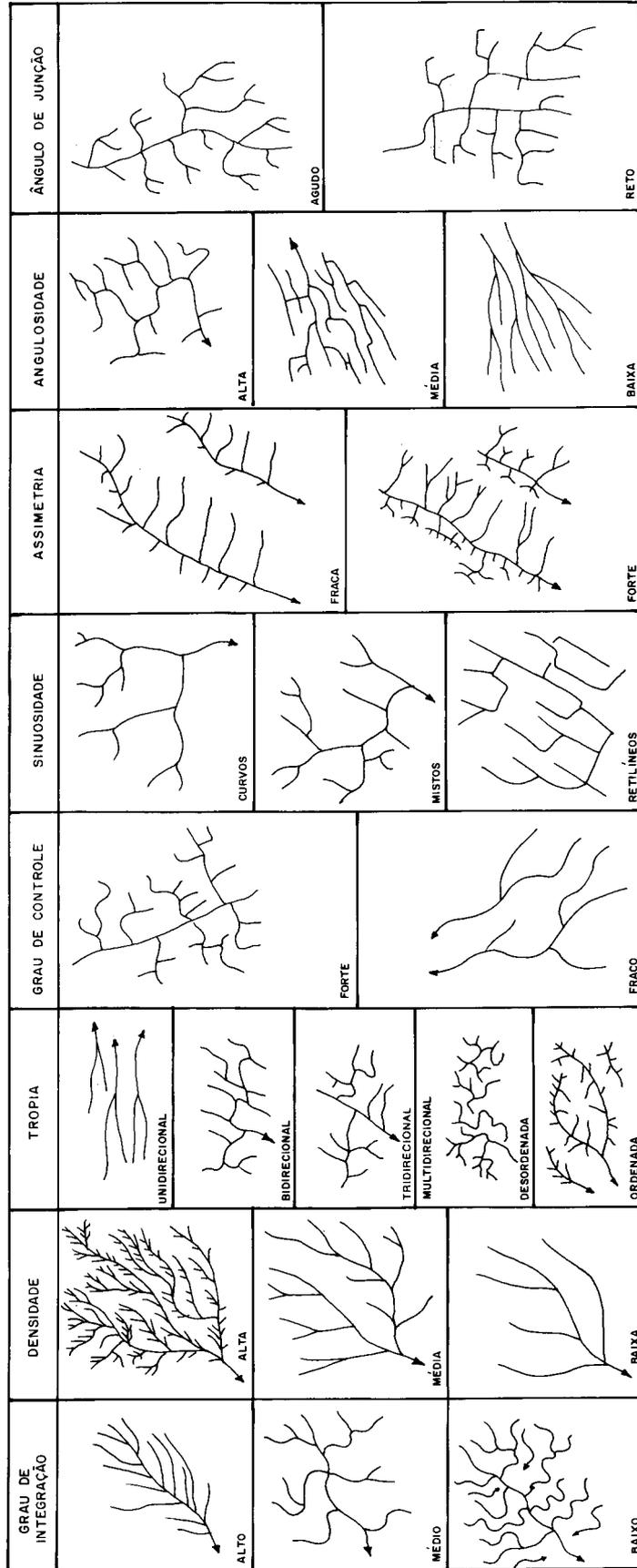


Figura 49 - Propriedades da Rede de Drenagem (Mod. Soares e Fiori, 1976).

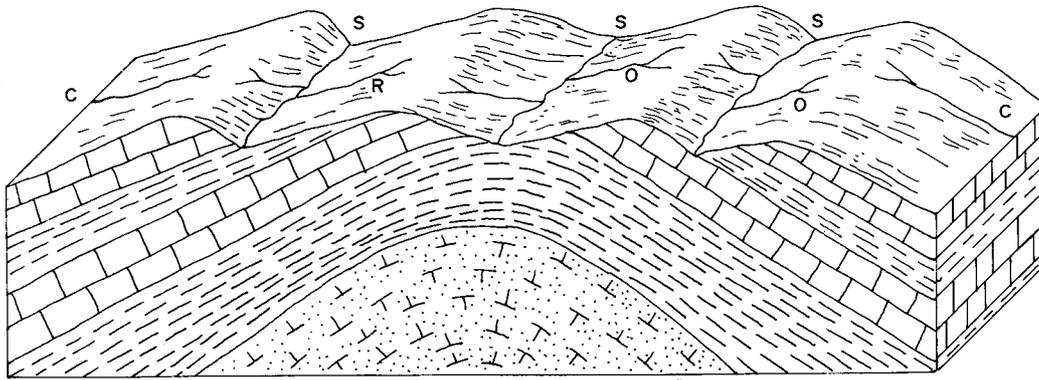


Figura 50 - Rios quanto à Estrutura Geológica.  
C - Conseqüentes; O - Obseqüentes; R - Reseqüentes; S - Subseqüentes (Vergara, 1971).

Conseqüente é o rio que tem curso controlado pelo caimento da estrutura planar (camada e foliação), a qual geralmente coincide com o pendor do terreno.

Subseqüente é o rio que tem seu curso desenvolvido ao longo de linha de fraqueza, como fratura, contato entre litótipos, discordâncias, etc. Constitui um rio que apresenta controle estrutural ou estratigráfico.

Reseqüente é o rio que tem seu curso disposto no mesmo sentido da drenagem conseqüente, mas em um nível topográfico inferior.

Obseqüente é o rio que ocorre em direção oposta à drenagem Conseqüente da área.

Inseqüente é o rio que não se apresenta, aparentemente, controlado por qualquer fator, seja estrutural ou estratigráfico.

Superimposto é o rio que estabelece seu curso cortando as estruturas geológicas já existentes. É um rio de formação mais jovem do que as referidas estruturas.

Antecedente é o rio que teve seu curso preservado, apesar das novas estruturas que foram criadas. É um rio mais antigo em relação as mais recentes estruturas implantadas na área.

Na Figura 51 apresentam-se os padrões de drenagens da Área Modelo (Estampa 7), a fim de ilustrar os conceitos aqui reportados. Nesta figura podem-se destacar três grandes conjuntos de padrões de drenagens, A, B e C, de acordo com Lueder (op. cit.).

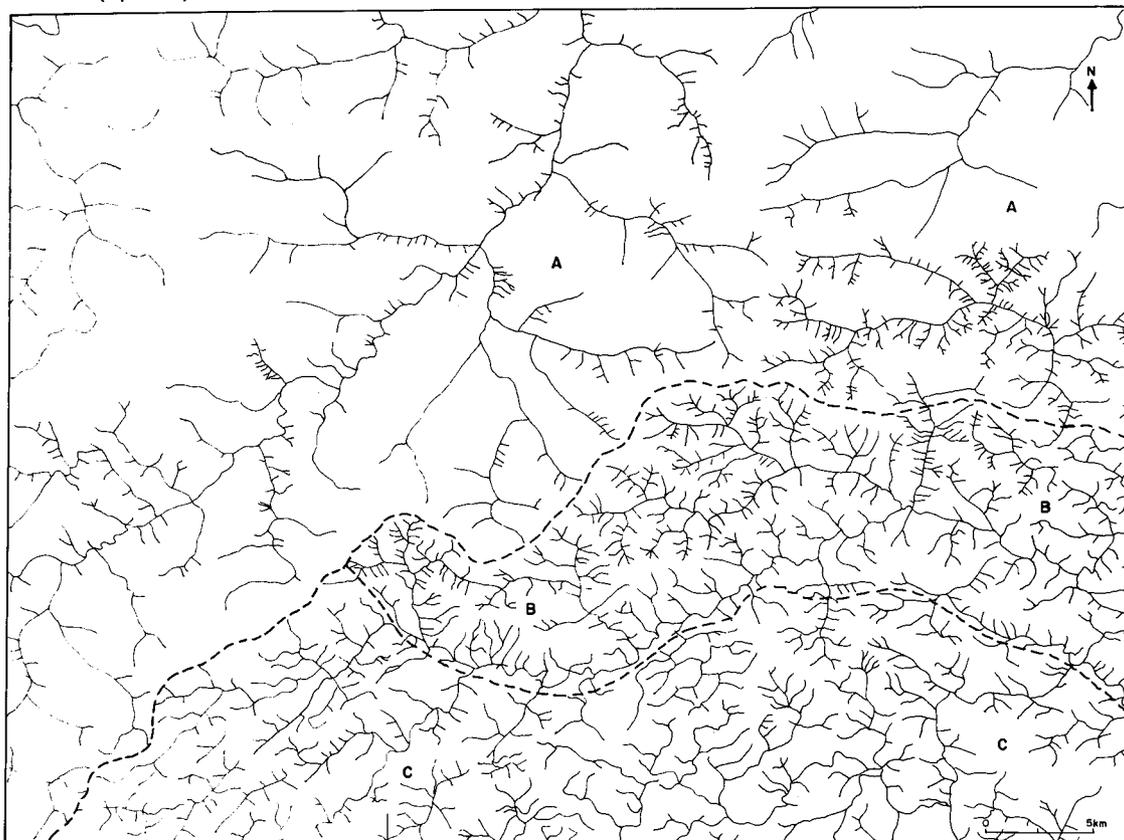


Figura 51 - Padrões de Drenagens. Folha SD. 24-Y-C (Cf. Estampa 7).

## 5.4 Morfoestrutura

O termo morfoestrutura foi introduzido por Gerasimov (1946) apud Gerasimov & Mescherikov (1968), que propôs, através de análises geomorfológicas, a divisão das formas de relevo em três principais categorias genéticas: geotexturas, morfoestruturas e morfoesculturas.

Os primeiros correspondem às feições maiores do relevo terrestre (maciços continentais, bacias oceânicas, etc.). Os elementos de morfoestruturas complicam as formas de geotexturas. As morfoestruturas são complicadas por formas menores, os elementos de morfoesculturas.

Segundo Gerasimov & Mescherikov (op. cit.), as morfoestruturas consistem naquelas formas da superfície terrestre que são produzidas pela interação de forças endógenas e exógenas. Desse modo, retratam-se pelas formas principais do relevo da terra (cadeias de montanhas, bacias intermontanas, planaltos, depressões, etc.). No entanto, feições de relevo relativamente menores com anticlinais, bacias, domos, arqueamentos, falhas e outros elementos topográficos, formados diretamente por movimentos tectônicos, também constituem morfoestruturas.

Barbosa et al. (1984) implantaram o conceito de Domínios Morfoestruturais nos levantamentos geomorfológicos realizados para o Projeto RADAMBRASIL, como grandes conjuntos estruturais, que geram arranjos de relevo, que guardam relação de causa entre si.

Consoante Soares et al. (1981) apud Crepani (1988) o termo morfoestrutura é aplicado para definir uma estrutura suposta, identificada a partir da análise de formas de relevo e padrões de drenagens. Desse modo, o principal objetivo da análise morfoestrutural é obter informes a respeito de estruturas, uma vez que se espera com a aplicação dessa técnica que a morfologia da superfície de uma bacia reflita, embora de modo atenuado, as condições estruturais do embasamento.

Adotar-se-á a definição de morfoestrutura no sentido de Gerasimov e Mescherikov (op. cit.), ressaltando-se apenas que os referidos autores confundiram estrutura geológica com feição de relevo. Desse modo, morfoestrutura denomina-se àquelas feições em que a forma de relevo e a drenagem estão estreitamente relacionadas à estrutura geológica, seja ela de caráter dobrado, falhado ou lineagênico. Podem apresentar feição positiva ou negativa, e podem estar à superfície ou então inumadas por espessa seqüência sedimentar. Quando é possível definir o tipo ou associação de litótipos que compõem a morfoestrutura, denomina-se Litomorfoestrutura.

A identificação e análise das morfoestruturas é usada tanto na solução de problemas da estrutura e evolução da terra quanto da interpretação geomorfológica da estrutura geológica. Nesse caso, são de grande importância prática na prospecção de petróleo e gás natural em terrenos sedimentares, assim como depósitos minerais de forma genérica em qualquer tipo de terreno geológico.

Para definição das morfoestruturas dos parâmetros fotogeológicos são de grande relevância: formas de relevo e padrões de drenagens.

Para as formas de relevo torna-se importante a identificação de feições relativas às cristas assimétricas, conforme os critérios apresentados no item 5.2.1, referente ao sentido de mergulho das mesmas. Desse modo, a caracterização de formas assimétricas em feições com topo agudo é o passo mais importante na caracterização das morfoestruturas. No entanto, se a região que está sendo estudada não possui formas de relevo com expressão topográfica, tem-se que usar outro importante parâmetro, qual seja o padrão de drenagem.

Quando da análise de drenagem, quatro importantes formas devem ser pesquisadas: assimétricas, circulares ou elípticas, lineares e radiais. (Figura 52).

O arranjo da drenagem vai permitir identificar uma feição planar, da mesma maneira que o arranjo circular ou elíptico e/ou radial vai sugerir a presença de estruturas dobradas. Por sua vez, o arranjo linear da drenagem possibilitará o condicionamento de lineamentos estruturais.

Uma questão a ser pesquisada é com respeito ao grau de estruturação dos referidos arranjos, uma vez que se necessita saber se os mesmos compõem-se por drenagens do tipo Subseqüente, ou seja, se existe uma inter-relação com a estrutura geológica ou não.

Na Figura 52 relacionam-se os arranjos dos elementos de drenagem *versus* o grau de estruturação dos mesmos através das adjetivações muito fraco, moderado, forte e muito forte. A avaliação do fator de confiabilidade possibilitará a definição do grau de estruturação. Este indica quão bem estruturadas estão as propriedades da forma analisada, dando certeza de que a morfoestrutura é tal como está representada, segundo conceituação de Soares et al. (1981). O valor numérico do fator de confiabilidade é expresso em cinco níveis de intensidade de estruturação:

- muito fraco - 0 - 0,20
- fraco - 0,21 - 0,40
- moderado - 0,41 - 0,70
- forte - 0,71 - 0,90
- muito forte - 0,91 - 1,00

O valor total do grau de estruturação da morfoestrutura é dado pelo produto dos arranjos que estão sendo analisados.

Com efeito, o Arranjo dos Elementos de Drenagem - AED - linear se aplica apenas para estruturas falhadas, ao passo que as demais para estruturas dobradas.

Para o Grau de Estruturação - GE - tem-se os seguintes valores:

0,20 - (muito fraco)

0,40 - (fraco)

0,60 - (moderado)

0,80 - (forte)

1,00 - (muito forte)

Tendo por base os dados constantes da Figura 52, analisar-se-á a anomalia de drenagem da Figura 53, exposta na chapada do Cachimbo (Pará), bacia do rio São Tomé:

$AED_r = 1$  (radial)

$AED_{(c)} = 0,95$  (circular)

Fator de Confiabilidade (FC) =  $1 \times 0,95 = 0,95$  (muito forte)

		ARRANJO DOS ELEMENTOS DE DRENAGEM				FATOR DE CONFIABILIDADE
		RADIAL	LINEAR	CIRCULAR ou ELÍPTICO	ASSIMÉTRICO	
GRAU DE ESTRUTURAÇÃO	MUITO FRACO					0,2
	FRACO					0,4
	MODERADO					0,6
	FORTE					0,8
	MUITO FORTE					1,00

Figura 52 - Análise do Arranjo dos Elementos de Drenagem (Adaptado de Soares et al. 1981).

Nos domínios da Bacia Paleozóica do Médio Amazonas, Lima & Fernandes in Araújo et al. (1976), fizeram referência sobre a morfoestrutura do Erepecu, chamando atenção para a possibilidade de relacionar-se a uma intrusão ígnea básica (Figura 54). Posteriormente, Lima (1979) aventa a hipótese de se tratar de uma estrutura halocinética, porquanto da feição anelar com a porção central deprimida, além da incidência de lagos, em seu interior (Estampa 23). No início dos anos 80, por indicação do então Projeto RADAMBRASIL, tal morfoestrutura foi alvo de exploração geológica, acompanhada por dois perfis ortogonais de magnetometria e gravimetria por parte da CPRM, cujos resultados finais estão expressos em Araújo et al. (1983). Estes autores descartam a possibilidade de um domo salino; no entanto, explicam em seguida que a origem da estrutura circular não encontra uma clara explicação com os resultados da prospecção geofísica executada, sugerindo por conseguinte novos perfis. Tem-se a informação da execução de um furo de sondagem raso no flanco ocidental da estrutura pela CPRM, no qual não foram encontrados sinais de rochas salinas.

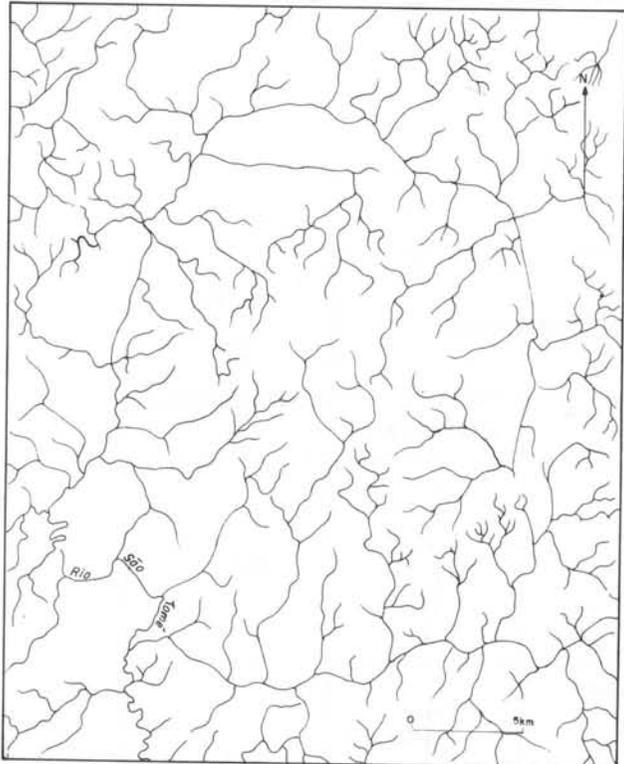


Figura 53 - Anomalia de Drenagem do São Tomé (Pará).  
Folha SC.21-V-B.

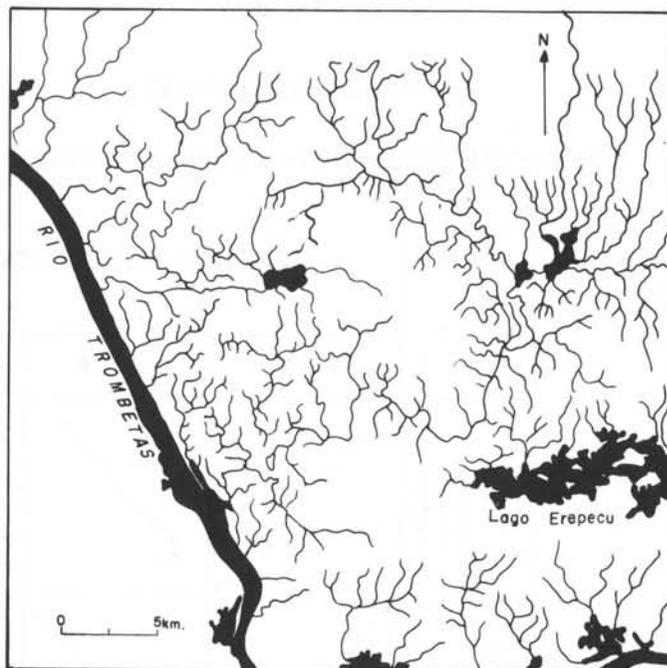
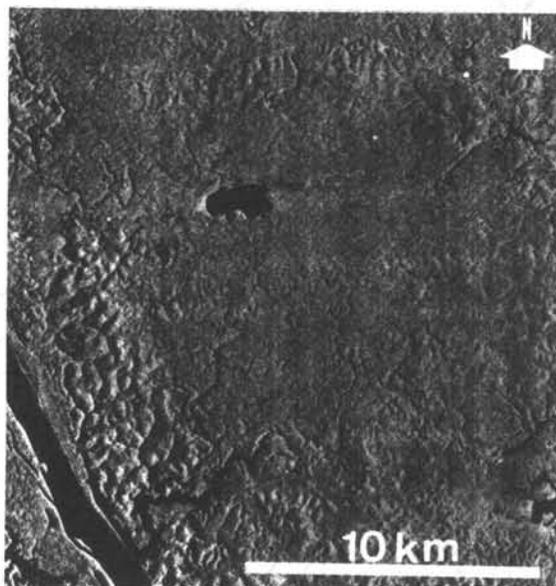


Figura 54 - Anomalia de Drenagem do Erepecu (Pará).  
Folha SB.21-X-C (Cf. Estampa 23).



Estampa 23 - Anomalia de Drenagem. Região do Lago Erepecu (Pará).  
Imagem RVL - GEMS, Banda X, 1971/ 1972. Folha SB.21-X-C.

Carneiro & Bezerra (1972) e Lima et al. (1990) chamam a atenção para um conjunto de morfoestruturas interpretadas no âmbito da Bacia Paleozóica do Parnaíba. Dentre essas, apresenta-se na Figura 55 a Morfoestrutura do Uíca, interpretada a partir de imagens RVL e LANDSAT, em virtude da escassez de dados geológicos de superfície.

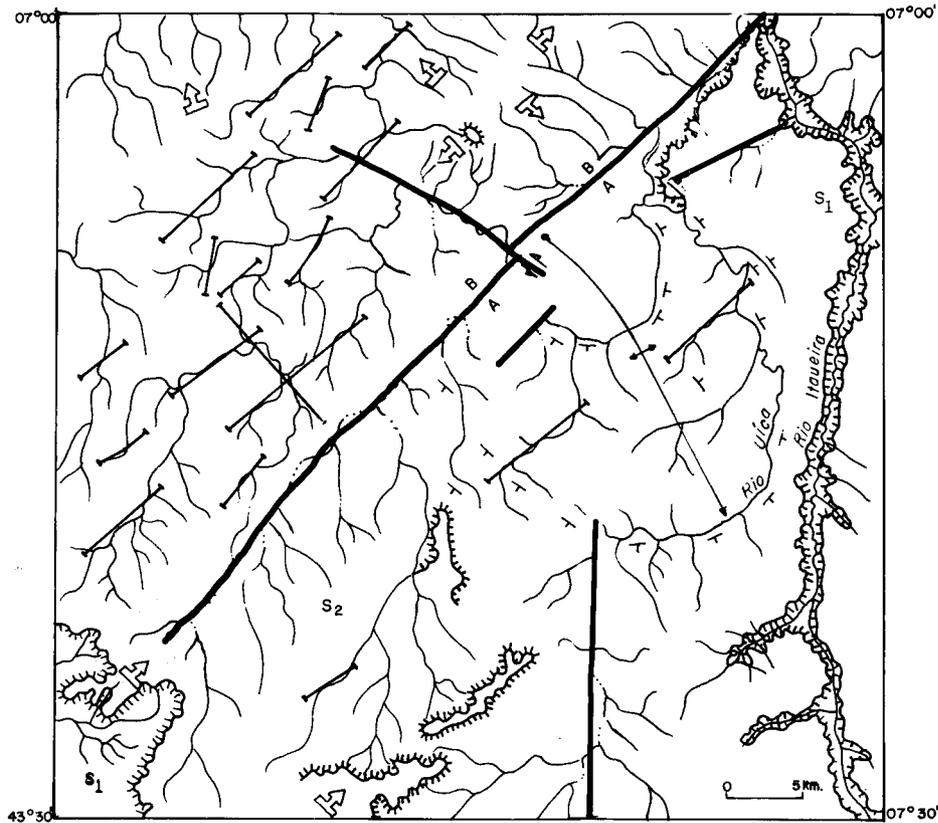


Figura 55 - Anomalia de Drenagem do Uíca (Piauí). Folha SB.23-Z-D. Seg. Lima et al. (1990).

## 6 Estádio Análise

Com o Estádio ANÁLISE inicia-se mais uma importante etapa na interpretação radargeológica, uma vez que dar-se-á ênfase às feições morfológicas retratadas na imagem que se apresentam sob forma de planos, linhas, ou ambos, procurando estabelecer suas relações espaciais. Por conseguinte, abordar-se-ão, a seguir, as feições planares, lineares e tabulares, constituintes do Estádio ANÁLISE, cujas relações com os fenômenos geológicos são colocadas em caráter preliminar, de acordo com as necessidades didáticas.

### 6.1 Feições Planares

As feições planares, como seu nome indica, constituem "planos" dispostos na imagem, que, para sua perfeita visualização, vão depender da linha de varredura do sensor Radar. A melhor orientação é aquela oblíqua ao scanner, uma vez que a pendente não está totalmente voltada para a antena, evitando o encurtamento (*Radar Foreshortening*). No entanto, as imagens de RVL mostram uma infinidade de planos, provocando uma certa confusão ao intérprete com pouca experiência. Em vista disso, sugere-se que sejam rastreadas na imagem aqueles planos que tenham as configurações em "U" ou "V", cuja abertura será indicativa do sentido do mergulho (Figura 56). À medida que o ângulo de mergulho aumenta, a feição em "U" passa a "V" até atingir o traçado retilíneo, no caso de mergulhos verticais. A forma em "U" ou "V" constitui o resultado da ação de agentes erosivos sobre tal estrutura (Figura 57). Deve-se ressaltar que devido à presença de colúvios e leques aluviais nas encostas das elevações, pseudo feições planares podem ser exibidas. Em vista de serem planos, regras geométricas com respeito a sua projeção no plano horizontal obedecem à regra dos "Vês". No caso de retratarem camadas horizontais, comportam-se como se fossem curvas de nível; no outro extremo, em camadas verticais, teriam a forma retilínea e, nos casos intermediários, em "V" apontados para jusante ou montante (Figura 58, a, b, c, d, e, f).

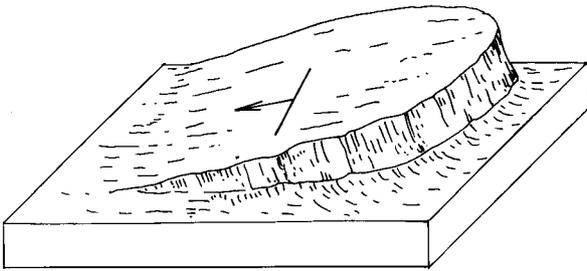


Figura 56 - Expressão Topográfica de um Estrato (Vergara, 1971).

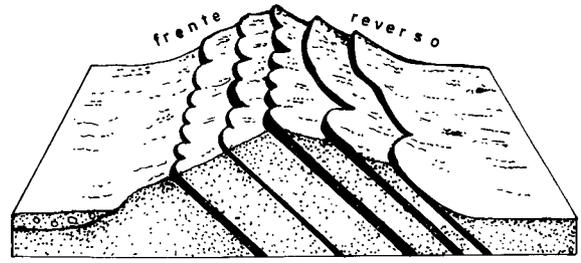


Figura 57 - Bloco-Diagrama Ilustrando a Regra dos "Vês" em Feições Planares (Cuesta).

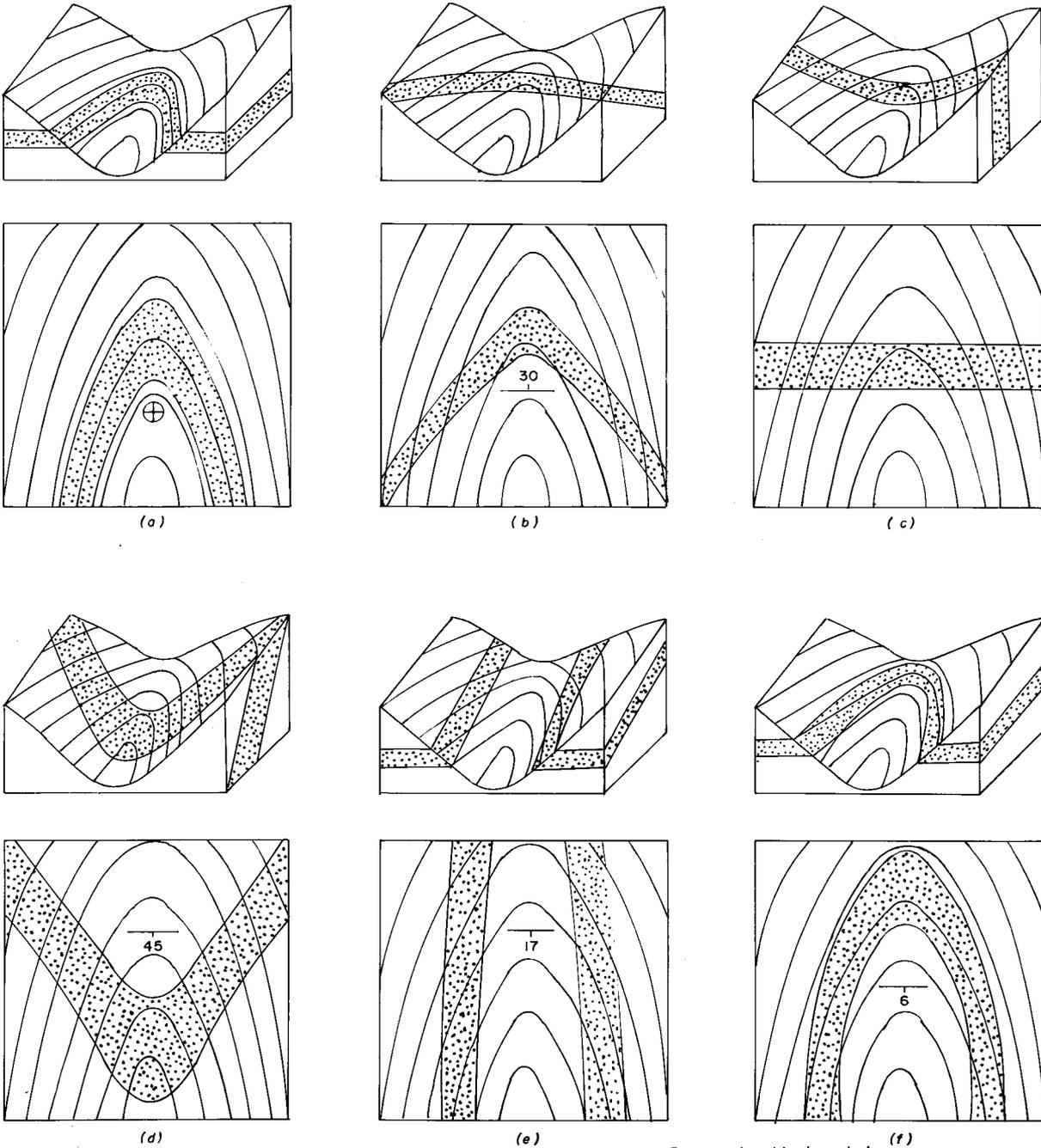
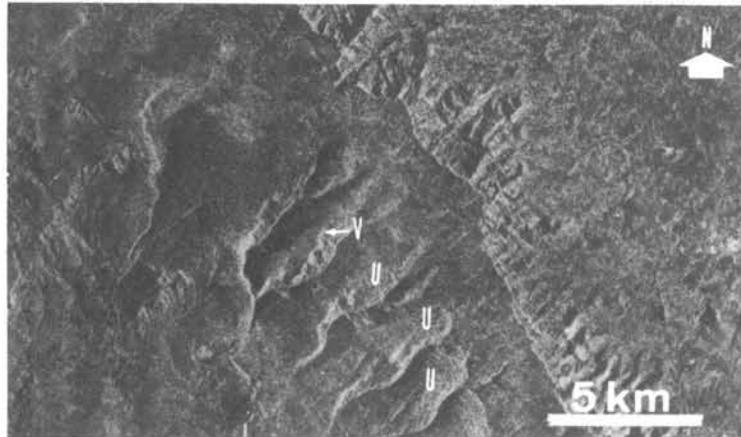


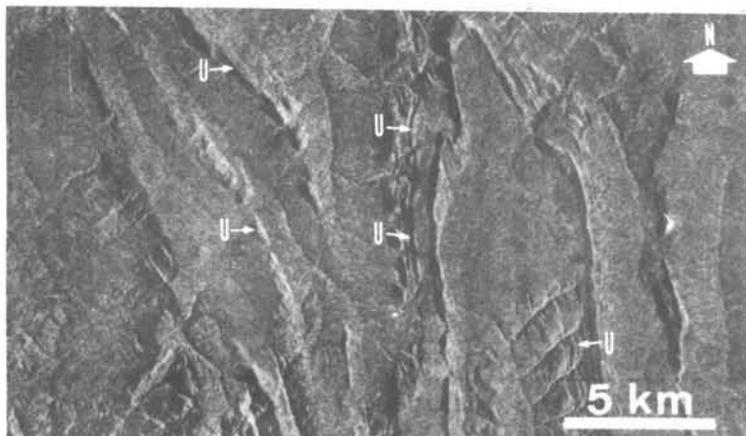
Figura 58 a, b, c, d, e, f - Regra dos "Vês" em Camadas Horizontais, Verticais e Inclinadas, em Relação a Curvas de Nível (Ragan, 1980).

As feições planares podem ser de caráter primário ou secundário. O primeiro caso tipifica-se pelo acamamento sedimentar e ígneo (derrames basálticos), ao passo que na segunda hipótese pode constituir uma clivagem, xistosidade, gnassificação, foliação, cisalhamento ou plano de diáclase. Para se distinguir uma feição primária de uma secundária em imagem RVL é muito difícil. A melhor situação é aquela em que o intérprete consegue identificar as duas feições: a que tiver maior resalto poderá ser a mais jovem, conseqüentemente a secundária. Sugere-se que sejam traçadas com grafite azul.

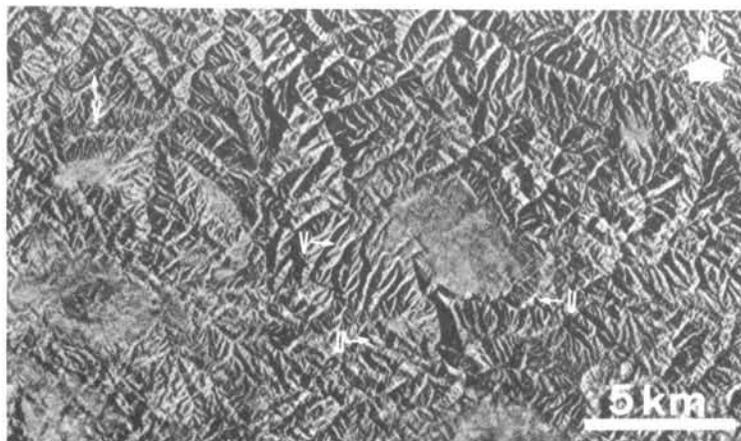
Nas Estampas 24, 25 e 26 ilustram-se as feições planares em "U" ou "V" de caráter primário ou secundário. As Figuras 59, 60 e 61 constituem as respectivas interpretações. S e M referem-se à classe de rochas sedimentares e metamórficas, respectivamente.



Estampa 24 - *Cuesta*. Imagem RVL - GEMS, Banda X, 1975/1976.  
Folha SD.23-Z-B. V = plano em forma de "V"; U = plano em forma de "U". Vide explicações no texto.



Estampa 25 - *Hogback*. Imagem RVL - GEMS, Banda X, 1975/1976.  
Folha SD.23-X-B. V = plano em forma de "V"; U = plano em forma de "U". Vide explicações no texto.



Estampa 26 - Feições Planares Secundarias. Imagem RVL - GEMS, Banda X, 1975/1976.  
Folha SD.23-Y-C. V = plano em forma de "V"; U = plano em forma de "U".



Figura 59 - Feições Planares (Cuesta). Folha SD. 23-Z-B (Cf. Estampa 24).

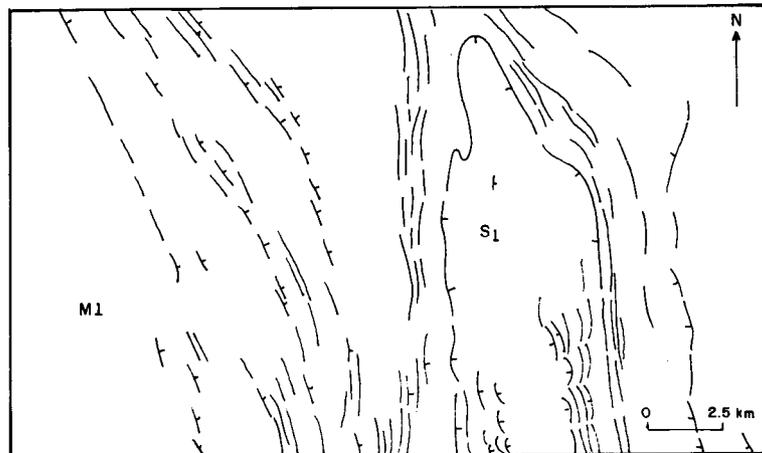


Figura 60 - Feições Planares (Hog back). Folha SD. 23-X-B (Cf. Estampa 25).

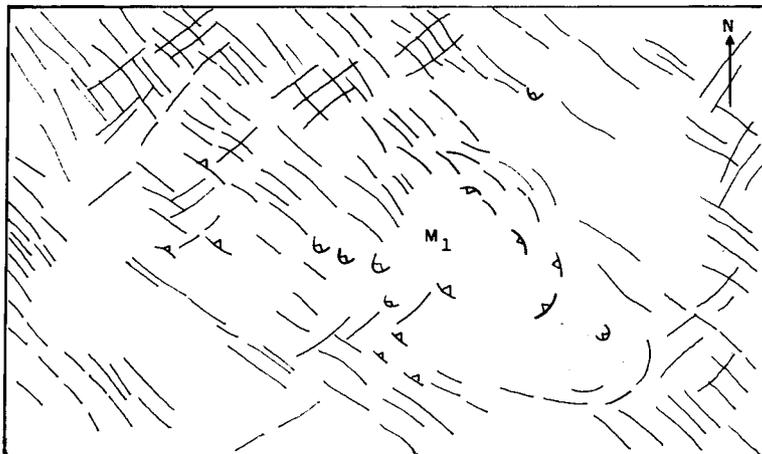


Figura 61 - Feições Planares Secundárias. Folha SD. 23-Y-C (Cf. Estampa 26).

## 6.2 Feições Lineares

A fim de evitar possíveis ambigüidades, estabelece-se um paralelo entre os termos lineamento, alinhamento e feições lineares. A introdução do termo lineamento deve-se a Hobbs (1904), que foi posteriormente redefinida por O'Leary et al. (1976) com similar significado: "Feição linear, simples ou composta, contínua ou descontínua, da superfície terrestre, cujas partes estão alinhadas em um arranjo retilíneo ou suavemente curvo e que difere substancialmente dos padrões de feições que lhes são adjacentes, presumivelmente refletem um fenômeno de subsuperfície". Soares et al. (1981) referem-se a alinhamento como pertencente à família de feições naturais na superfície terrestre de forma alinhada. Dentro desta conceituação o termo alinhamento é descritivo e genérico. Pode representar o arranjo alinhado de corpos de areias litorâneas, cristas de camadas inclinadas em uma faixa de camadas homoclinais, etc. No entanto, para ambas as situações, lineamento ou alinhamento denominam-se feições lineares. Desse modo, feição linear representa o arranjo linear de elementos de imagem.

As feições lineares são feições que, devido à visada lateral do sensor, se representam por linhas nas imagens RVL, quer sejam claras, em vista da reflexão frontal, quer sejam escuras, porquanto das sombras. Obviamente, tais feições estão ligadas a rasgos topograficamente positivos ou negativos. Esta distinção é de grande importância no Estádio ANÁLISE.

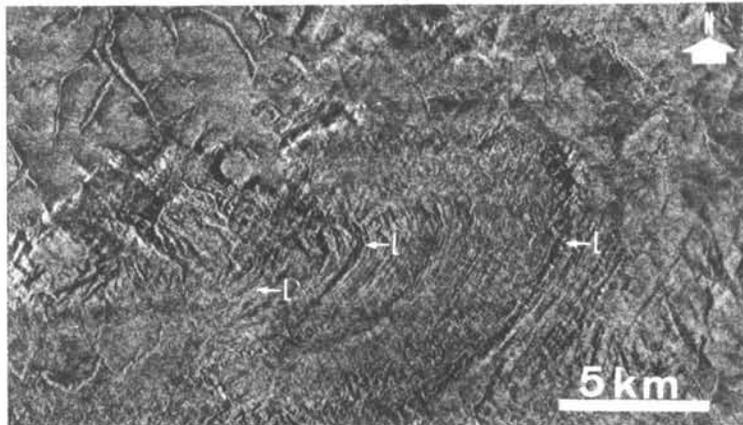
Deve-se enfatizar que o maior realce das feições lineares ocorre quando a feição imageada é paralela à linha de vôo (perpendicular à linha *scanner*). Corresponde aos "Lineamentos de Radar".

As feições lineares negativas podem retratar:

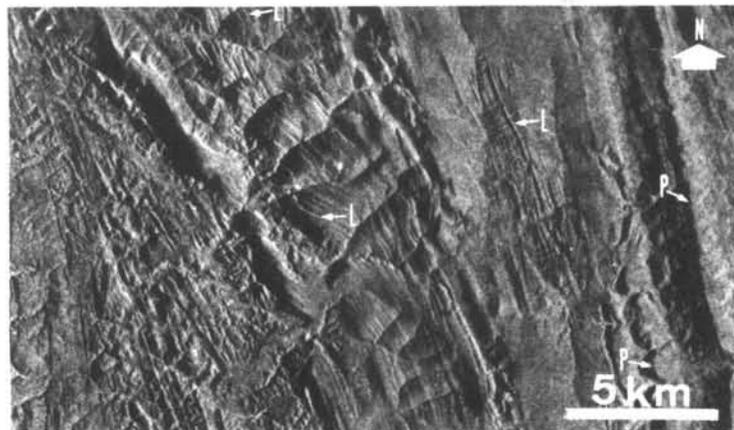
- traços de drenagem retilíneo, ou então zonas de descontinuidade das rochas; em ambos os casos devem constituir fraturas; e
- traço de drenagem.

No caso de negativas deve-se traçá-las com grafite vermelho, ao passo que sendo positivas devem ser delineadas com grafite azul.

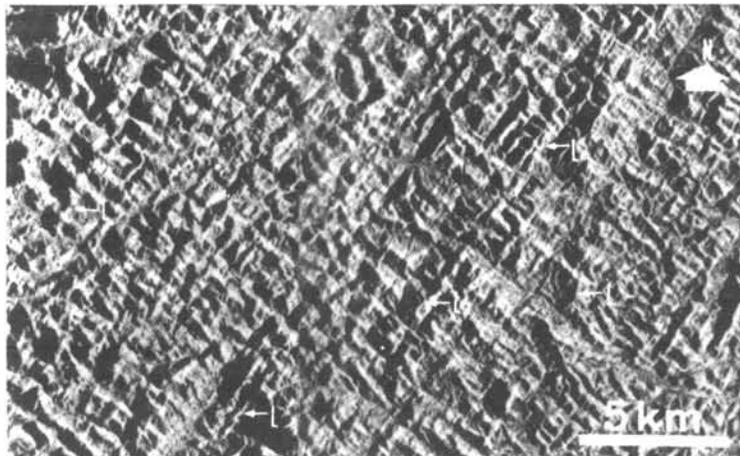
As Estampas 27, 28 e 29 retratam feições lineares positivas (retilíneas e curvilíneas) (L) e planares (P), cujas interpretações são representadas nas Figuras 62, 63 e 64, respectivamente. As letras S e M dão indicações da classe de rochas. Por sua vez, as Estampas 30 e 31 exemplificam feições lineares negativas (N) e planares (P), conforme apresentado nas Figuras 65 e 66, respectivamente. As letras M, S e I indicam a classe de rochas.



Estampa 27 - Feições Lineares Positivas Curvilíneas e Planares. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD.21-Z-B. L = feições lineares. Vide explicações no texto.



Estampa 28 - Feições Lineares Positivas Curvi-retilíneas e Planares. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD.23-X-D. L = feições lineares; P = feições planares. Vide explicações no texto.



Estampa 29 - Feições Lineares Positivas Retilíneas. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SF.23-X-D. L = feições lineares. Vide explicações no texto.

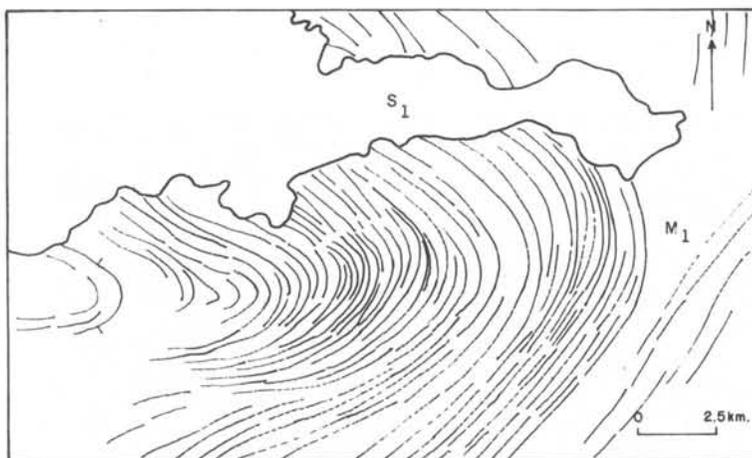


Figura 62 - Feições Lineares Positivas e Planares Curvilíneas. Folha SD. 21-Z-B (Cf. Estampa 27).

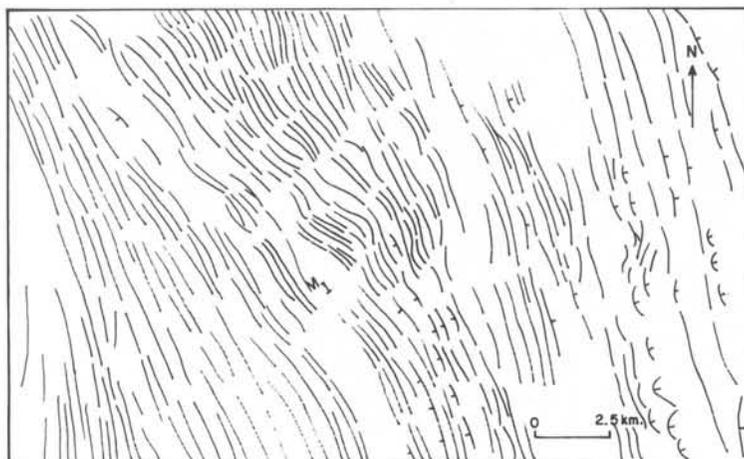


Figura 63 - Feições Lineares Positivas e Planares Curvi-retilíneas. Folha SD. 23-X-D (Cf. Estampa 28).

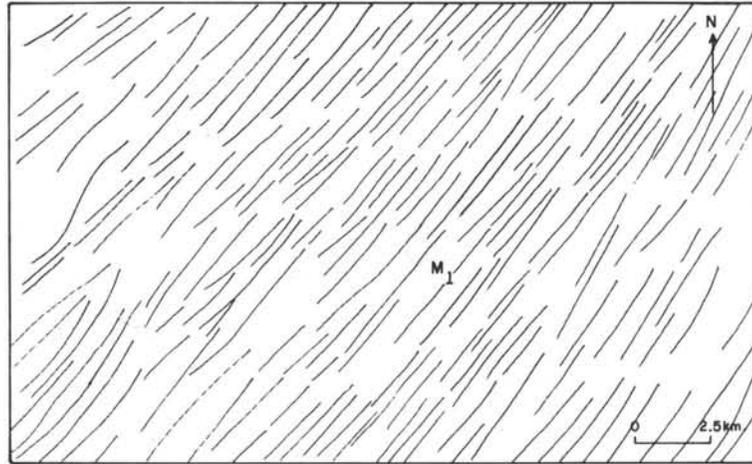
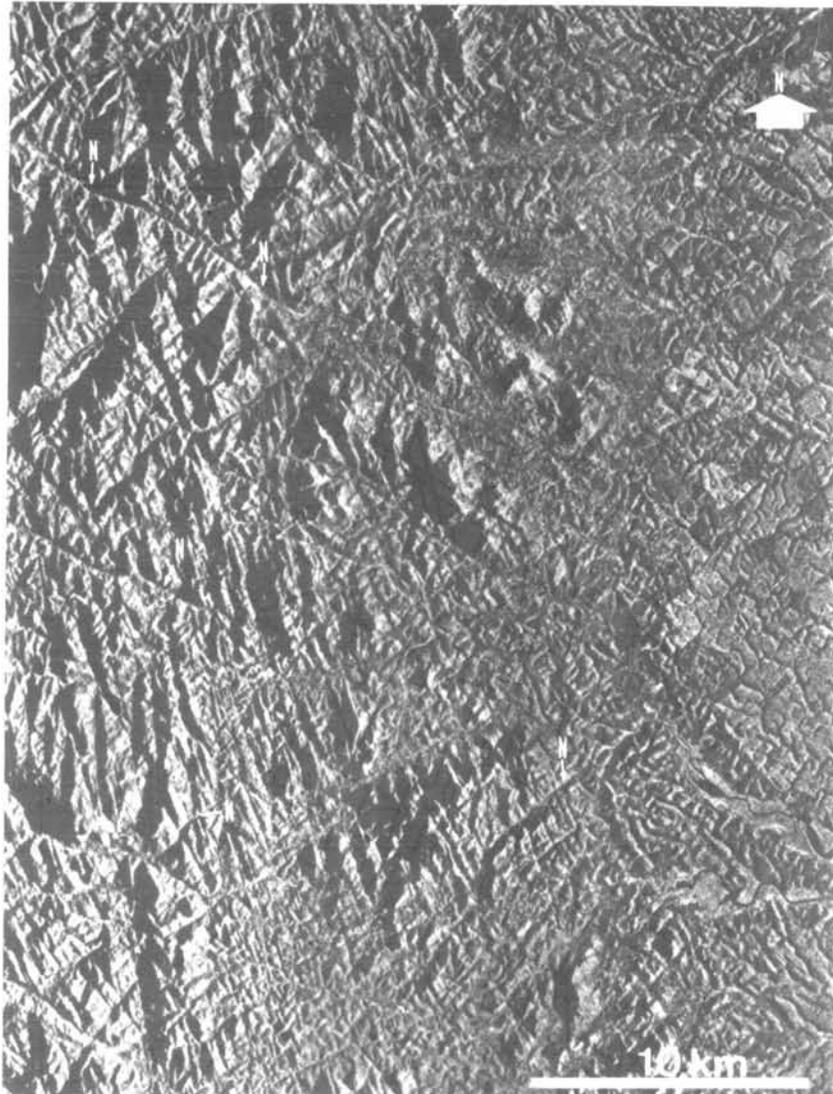
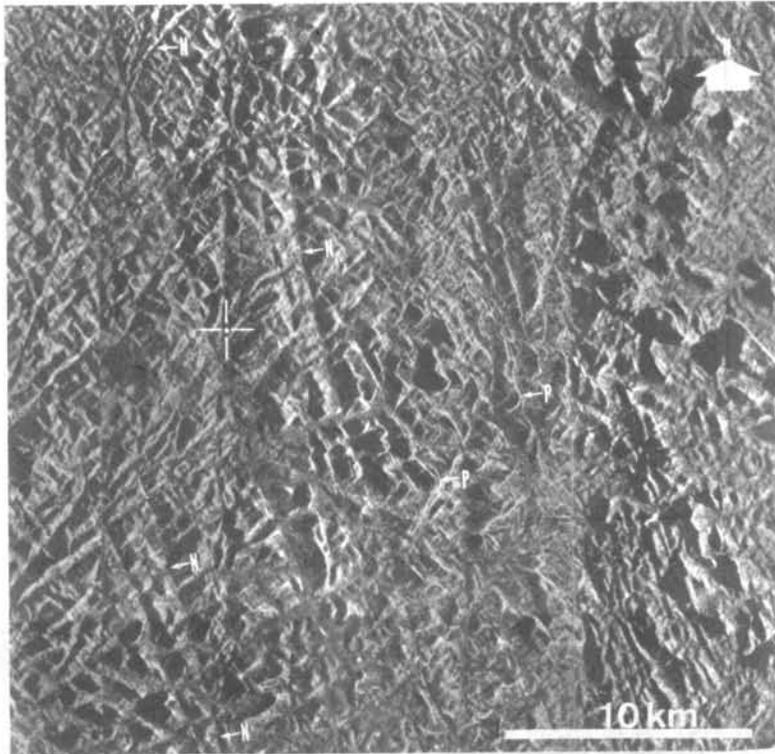


Figura 64 - Feições Lineares Positivas Retilíneas. Folha SD. 23-X-D (Cf. Estampa 29).



Estampa 30 - Feições Lineares Negativas. Região de Aracruz (Espírito Santo).  
Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SE.24-Y-D.



Estampa 31 - Feições Lineares Negativas e Planares. Região de Ecoporanga (Espírito Santo). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SE.24-Y-A. N = estruturas lineares negativas; P = estruturas planares.

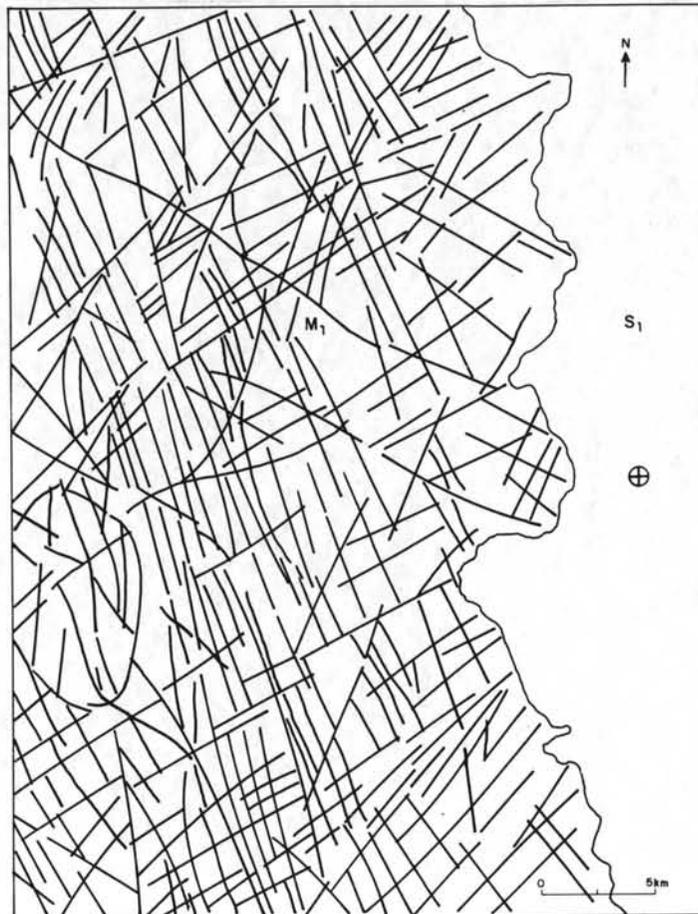


Figura 65 - Feições Lineares Negativas (Retilínea e Elíptica). Folha SE. 24-Y-D (Cf. Estampa 30).

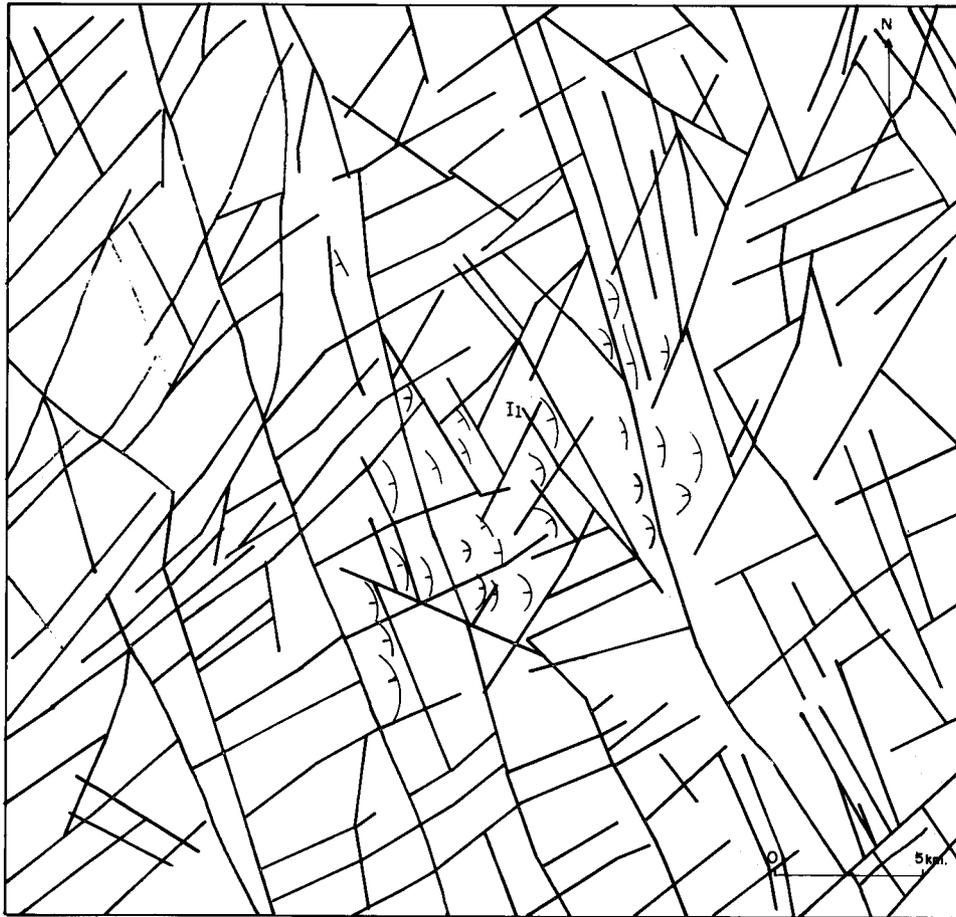


Figura 66 - Feições Lineares Negativas e Planares. Folha SE. 24-Y-A (Cf. Estampa 31).

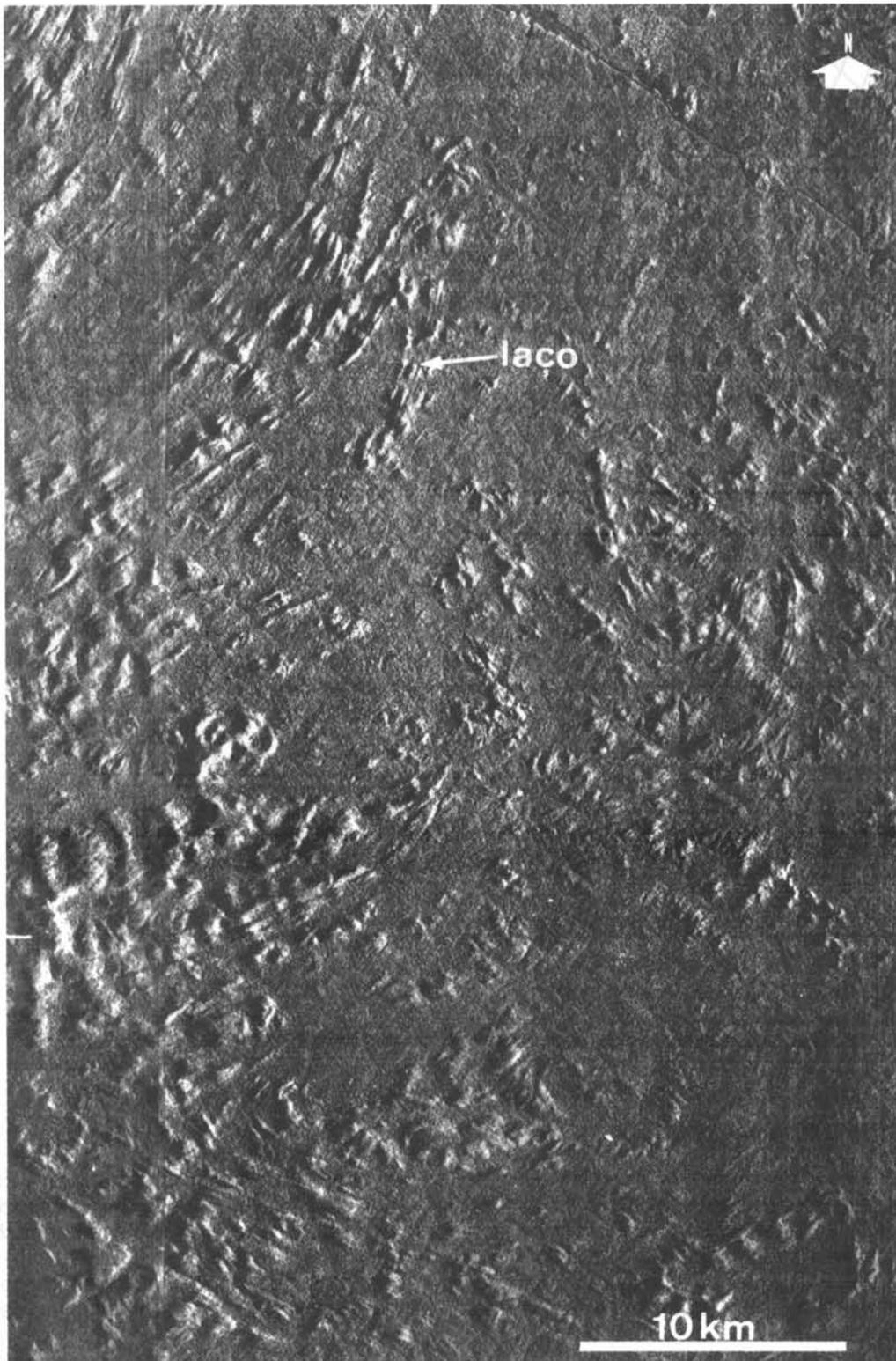
### 6.3 Feições Tabulares

Denominam-se tabulares em virtude de seu maior comprimento em relação a sua largura. Em outras palavras, constituem uma feições linear perfeitamente mapeável, em vista de sua maior expressão espacial.

Devem ser delimitadas propendendo definir a estruturação geral de uma área. No caso de rochas competentes, são de grande valia na identificação de falhas e dobras (Métodos dos Polígonos).

O Método dos Polígonos consiste na delimitação de pequenos polígonos expostos nas imagens RVL, amiúde em rochas competentes. Ex.: quartzito, *chert*, *bif*, etc. Tem como objetivo principal a definição de dobramentos, falhamentos, etc.

Utilizam-se a Estampa 32 para exemplificar a aplicação do Método dos Polígonos conforme demonstrado na Figura 67. Pode-se observar na referida ilustração através desta técnica que é possível ter-se idéia do contexto estrutural de uma região, mesmo se tratando de terrenos de alto grau metamórfico.



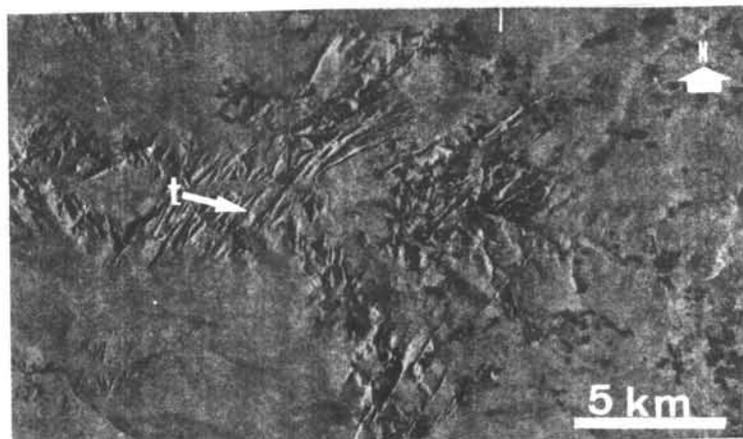
Estampa 32 - Terrenos de Alto Grau Metamórfico. Região de Nova Vida (Rondônia). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SC.20-Z-A. Vide explicações no texto.



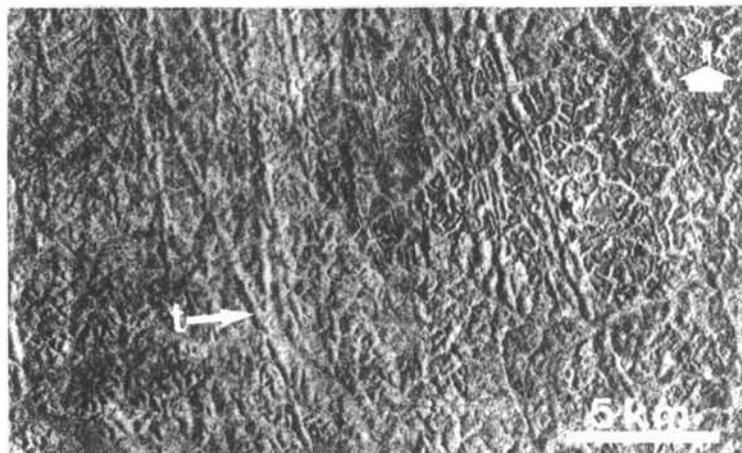
Figura 67 - Método dos Polígonos. Redobramentos em Sequências Metamórficas de Alto Grau. Modelo Tipo Laço. Folha SC. 20-Z-A (Cf. Estampa 32).

Em linhas gerais, as feições tabulares, correspondem geralmente, a diques ou zonas de silicificação, ou então a "camadas-guia", no caso de quartzitos, *bif*, *chert*, etc. Os diques ácidos geralmente expõem topo agudo, ao passo que os diques básicos podem evidenciar topo plano ou convexo.

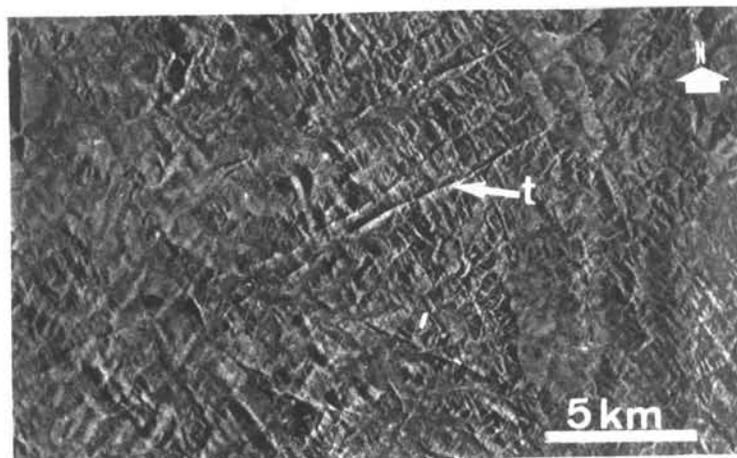
As Estampas 33, 34 e 35 ilustram feições tabulares (T) de topos agudo e convexo, consoante disposição mostrada nas Figuras 68, 69 e 70, respectivamente. As letras M e S indicam a classe de rochas.



Estampa 33 - Feições Tabulares de Topo Agudo. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SA.22-V-D. T = estruturas tabulares. Vide explicações no texto.



Estampa 34 - Feições Tabulares de Topo Convexo. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha NA.22-V-D. T = estruturas tabulares. Vide explicações no texto.



Estampa 35 - Feições Tabulares de Topo Agudo. Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SE.23-Z-C. T = feições tabulares. Vide explicações no texto.

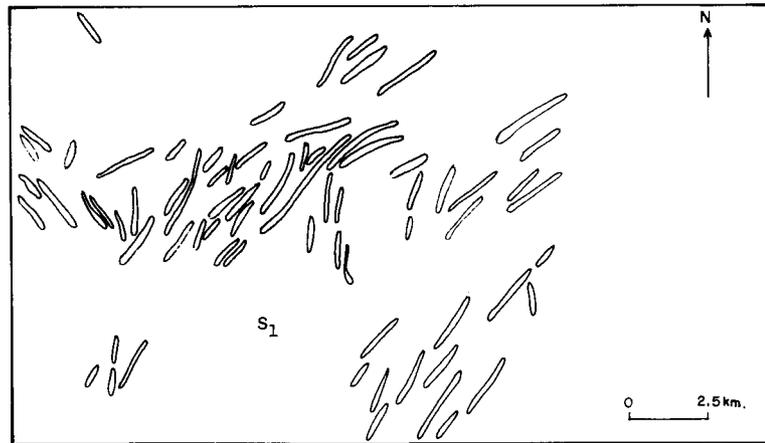


Figura 68 - Feições Tabulares (Zonas de Silicificação). Folha SA. 22-V-D (Cf. Estampa 33).



Figura 69 - Feições Tabulares (Diques Básicos). Folha NA. 22-V-D (Cf. Estampa 34).

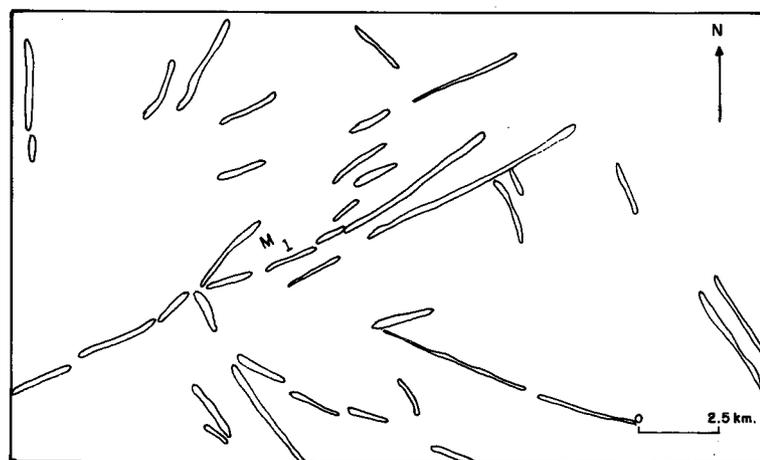


Figura 70 - Feições Tabulares (Diques Ácidos). Folha SE. 23-Z-C (Cf. Estampa 35).

A Figura 71 constitui a interpretação da área-modelo (Estampas 33, 34 e 35; e Figuras 68, 69 e 70) relativa a feições lineares, planares e tabulares. Vide Legenda 5.

Com as feições tabulares conclui-se o Estádio ANÁLISE.

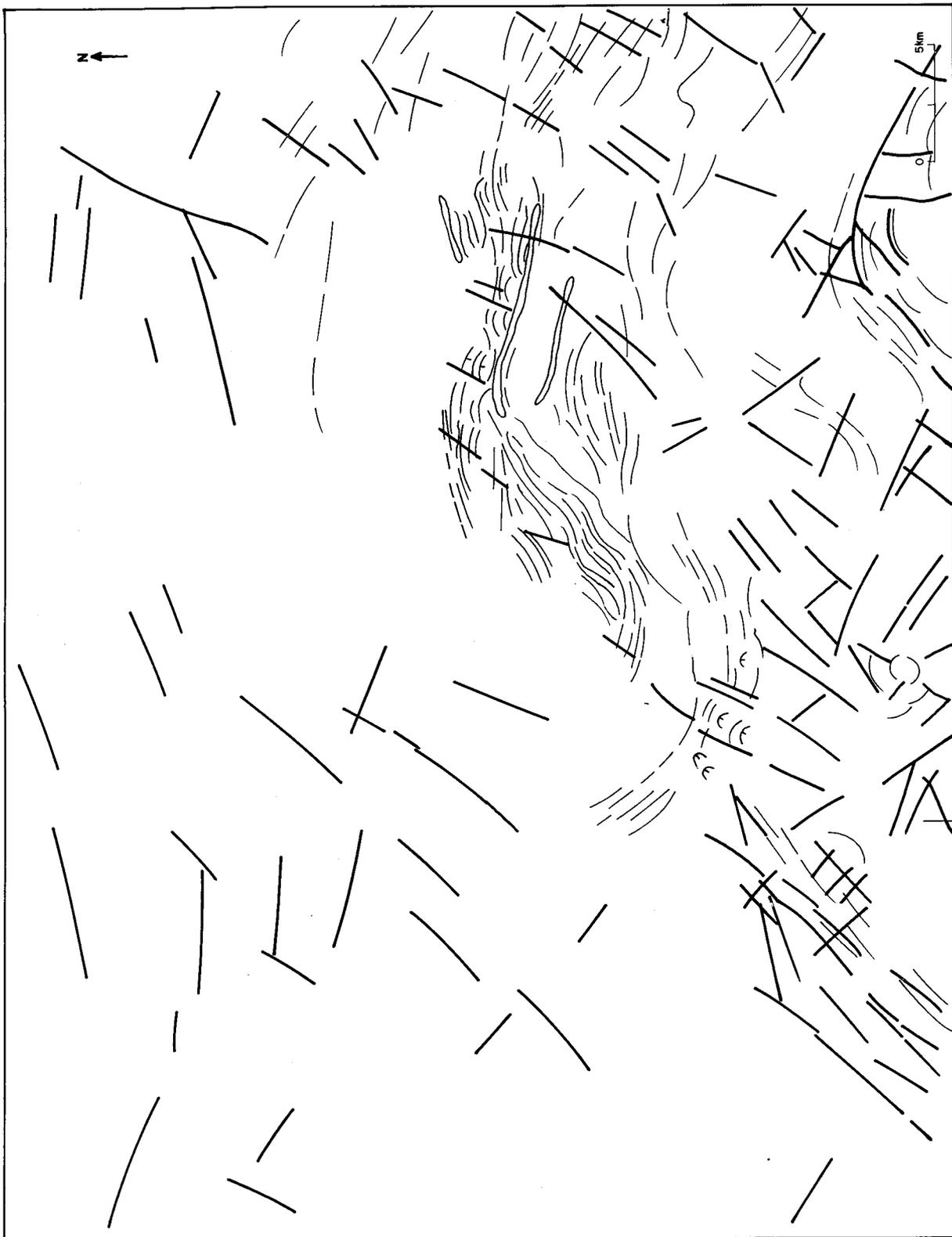


Figura 71 - Feições Planares, Lineares e Tabulares. Folha SD. 24-Y-C (Cf. Estampa 7)

Legenda 5  
**Convenções Utilizadas na Interpretação Estrutural**

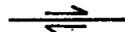
**1 - Feições Planares (Grafite Azul)**

-  — Camada Horizontal
-  — Camada Vertical
-  — Primária
-  — Secundária
-  — Indiscriminada
-  — Invertida (Primária)
-  — Invertida (Secundária)
-  — Invertida (Indiscriminada)

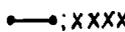
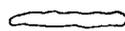
**2 - Feições Lineares**

-  — (Grafite Azul)      Positivas (Foliação)
-  — (Grafite Vermelho)      Negativas (Fratura)
-  —      Encoberta

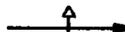
**3 - Falhas (Grafite Preto)**

-  — Falha Indiscriminada
-  — Falha Direcional
-  — Falha Normal
-  — Falha Inversa
-  — Falha Encoberta

**4 - Feições Tabulares (Grafite Preto)**

-  — Dique
-  — Zona de Silicificação
-  — Indiscriminada
-  — Definida

**5 - Dobras (Grafite Azul)**

-  — Eixo de Anticlíneo com caimento
-  — Eixo de Sinclíneo com caimento
-  — Eixo de Anticlíneo sem caimento
-  — Eixo de Sinclíneo sem caimento
-  — Eixo de Antiforme com caimento
-  — Eixo de Sinforme com caimento
-  — Eixo de estrutura indiscriminada
-  — Domo
-  — Bacia

## 7 Estádio Interpretação

Constitui o último estágio, e o mais importante da interpretação radargeológica, uma vez que o fotointérprete pode dar asas à sua imaginação, tendo por base as informações auferidas nos estádios anteriores. É a fase em que o intérprete pode aplicar seus conhecimentos de Geologia.

O Estádio INTERPRETAÇÃO inicia-se com a identificação de litologias, pré-requisitos para as Estruturas Circulares, seguido de Discordâncias, Falhas, Dobras e Redobramentos. Tais informações são de grande valia tanto para a Geologia Estratigráfica como a Estrutural, e terão grande significado para aplicação na Geologia Econômica.

### 7.1 Interpretação Litológica

A identificação de litótipos não é uma tarefa fácil em radargeologia, uma vez que uma série de variáveis devem ser consideradas. Desse modo, deve-se em princípio identificar a que classe pertencem os litótipos: ígneo, sedimentar ou metamórfico. Após definida a classe, o segundo passo será identificar o litótipo predominante ou então indicar uma associação dos mesmos. Propõe-se utilizar a seguinte notação para codificar os litótipos através de letra-símbolo, cujos índices estarão dispostos em ordem decrescente de idade (relativa):

- ígneas :  $I_1, I_2, I_3, \dots, I_n$ .
- sedimentares :  $S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$ .
- metamórficas :  $M_1, M_2, M_3, \dots, M_n$ .

Abreviaturas ou letras especiais são indicadas na Legenda 6 para os litótipos mais comuns e passíveis de identificação em imagens de RVL.

#### Legenda 6

#### Convenções e Abreviaturas Utilizadas na Interpretação Litológica (Grafite Preto)

————— - Contato entre unidades tracejado onde inferido

----- - Contato litológico

$I_1, I_2, \dots, I_n$  - Rochas ígneas

$S_1, S_2, \dots, S_n$  - Rochas sedimentares

$M_1, M_2, \dots, M_n$  - Rochas metamórficas

#### Litótipos mais comuns

$\gamma$  - Granitóides

$\alpha$  - Vulcânicas Ácidas

$\beta$  - Vulcânicas Básicas

$\delta$  - Básicas

$\upsilon$  - Ultrabásicas

$\lambda$  - Alcalinas

$\mu$  - Zona de Silicificação

xi - Xisto

af - Anfíbolito

ar - Psamitos

fh - Pelitos

cg - Psefitos

c - Carbonatos

ev - Evaporitos

gt - Granulito

gn - Gnaisse

q - Quartzito

mig - Migmatito

Observação: No caso de ser possível identificar o litótipo, o mesmo deve ser indicado entre parênteses. Por exemplo:  $I_1 (\gamma)$ . Podem ocorrer situações em que será factível interpretar vários grupos de um mesmo litótipo, nesta situação sugere-se o seguinte procedimento. Por exemplo:  $I_1 (\gamma_1), I_2 (\gamma_2); S_1 (ar_1), S_2 (ar_2)$ , e assim por diante.

A seguir, apresenta-se um conjunto de critérios que devem ser considerados por ocasião da interpretação litológica, sob a forma de tabelas. Vide Tabelas 6, 7, 8 e 9.

Tabela 6

**CRITÉRIOS PARA IDENTIFICAÇÃO DE LITÓTIPOS**

ÍGNEA (I)	SEDIMENTAR (S)	METAMÓRFICA (M)
1. Topo convexo e agudo-convexo.	1. Topo plano e plano-convexo aberto.	1. Topo agudo.
2. Pendentes escarpadas ou ravinadas.	2. Pendentes escarpadas com pedimentos.	2. Pendentes comumente ravinadas.
3. Morros mamelonares.	3. Platôs e <i>cuestas</i> .	3. <i>Hogback</i> e cristas.
4. Formas circulares e elípticas.	4. Formas quadráticas e retangulares.	4. Formas alongadas.
5. Padrões de drenagens anelar e anelar-dendrítico.	5. Padrões de drenagens dendrítico, paralelo e transição entre ambos.	5. Padrões de drenagens treliça e contorcida.
6. Formas homogêneas.	6. Feições planares.	6. Feições planares e lineares.
7. Fraturas em três direções.	7. Fraturas em várias direções.	7. Fraturas concordantes com a orientação geral.
8. Maciças.	8. Estratificadas.	8. Foliadas.
9. Ausência de "camada chave".	9. Presença de "camada chave".	9. Presença de "camada chave".
10. Sets de feições tabulares (diques).	10. Ausência de feições tabulares.	10. Ausência de sets de feições tabulares.

Tabela 7

**IDENTIFICAÇÃO DE ROCHAS ÍGNEAS**

ÁCIDAS	BÁSICAS
1. Stocks com formas circulares elípticas ou em oito.	1. Stocks com formas alongadas.
2. Vulcânicas geralmente compõem relevo fraco em relação às plutônicas.	2. Vulcânicas compõem platôs similares a rochas sedimentares.
3. Plutônicas grosseiras ocupam relevo fraco em relação às de granulação média e fina.	3. Em climas úmidos: textura lisa, tom cinza-escuro, topo plano e presença de lagos.
4. Padrões de drenagens anelar e radial.	4. Em climas úmidos: drenagem multibasinal.
5. Drenagens com sinuosidade elevada.	

Tabela 8

**IDENTIFICAÇÃO DE ROCHAS SEDIMENTARES**

PSAMITOS/RUDITOS	PELITOS	CARBONATOS
1. Pendentes escarpadas c/colúvios.	1. Pendentes ravinadas.	1. Pendentes abauladas.
2. Drenagem com baixa densidade.	2. Drenagem com alta densidade. Vales afogados.	2. Drenagem com baixa densidade e rios cegos.
3. Drenagens dendrítica e paralela.	3. Drenagens dendrítica e paralela.	3. Drenagem multibasinal (dolinas).
4. Relevo positivo.	4. Relevo negativo.	4. Relevo negativo em climas úmidos.
5. Tom cinza-escuro devido à ausência de vegetação.	5. Tom cinza.	5. Presença de <i>corner reflector</i> (tom branco).
6. Médio grau de integração.	6. Alto grau de integração.	6. Baixo grau de integração.

Tabela 9

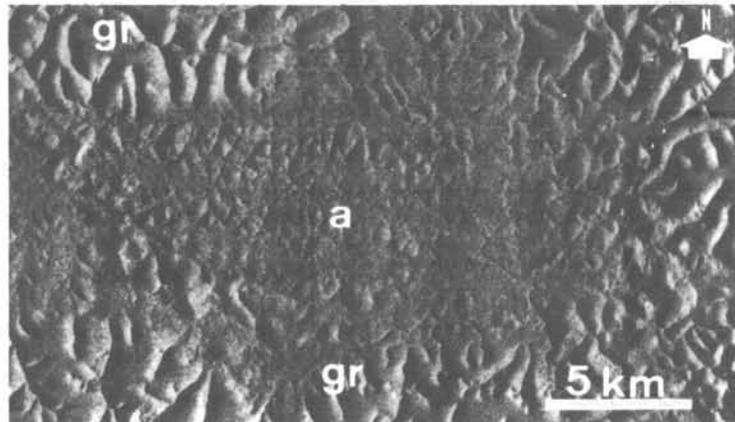
## IDENTIFICAÇÃO DE ROCHAS METAMÓRFICAS

FILITOS/XISTOS	GNAISSES	QUARTZITOS BIF/CHERT	ANFIBOLITOS
1. Em climas úmidos: relevo fraco a arrasado e textura fina.	1. Em climas úmidos e relevo médio a forte: textura média e grosseira.	1. Cristas com grande extensão espacial bifurcadas (estrutura "pata de caranguejo").	1. Em climas úmidos: corpos alongados com topo plano.
2. Pendentes ravinadas.	2. Pendentes com pouco ravinamento.	2. Pendentes escarpadas.	2. Pendentes com pouco ravinamento.
3. Feições lineares bem desenvolvidas.	3. Feições lineares e planares.	3. Feições planares. Aparecimento de estruturas tabulares.	3. Ausência de feições planares e lineares.

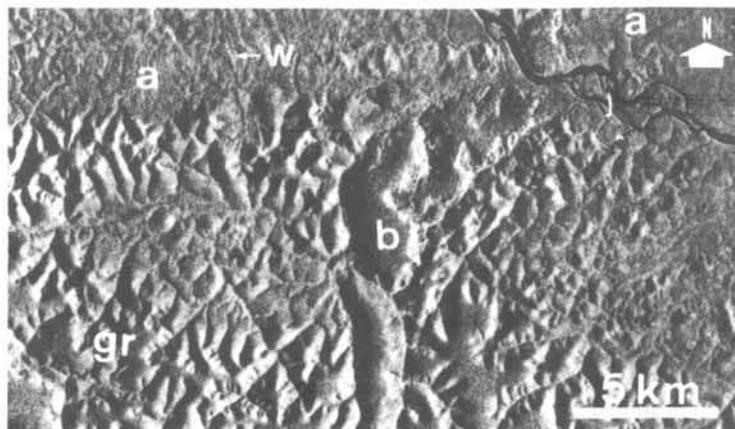
Obviamente que os critérios listados na Tabela 6 não são rígidos, havendo variações em termos de clima, como o desenvolvimento de topos planos em terrenos ígneos/metamórficos devido à formação de níveis de aplanamento de caráter regional, tendo como consequência o desenvolvimento de lateritos. Por outro lado, os derrames basálticos terão caracteres semelhantes ao grupo de rochas sedimentares distinguindo-se apenas no tipo de pendente e fraturas.

Após a identificação a que classe pertencem os litótipos pode-se aventar os prováveis nomes dos mesmos. Para tanto deve-se observar com minudência as formas de relevo e padrões de drenagens, tendo por base as propriedades físicas das rochas, em termos de resistência à erosão, sempre lembrando a grande influência que o clima exerce nas mesmas.

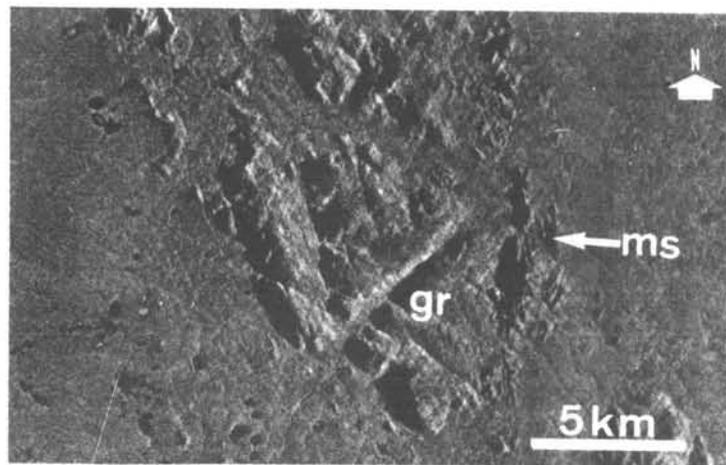
As Estampas 36, 37 e 38 representam exemplos de associações de rochas plutônicas e vulcânicas em imagens RVL. A Estampa 36 retrata um terreno vulcanoplutônico de composição ácida. As vulcânicas ácidas (a) dispõem-se em relevo fraco, com morros não orientados de topo convexo. Por sua vez, as plutônicas ácidas (gr) compõem zonas de relevo médio, com feições de topo convexo, escarpado e sem orientação. A Estampa 37 mostra uma relação semelhante à ilustração anterior, ressaltando-se a presença de corpo básico (b) de forma alongada, topo plano e pendentes com colúvios. Ressalte-se a ocorrência de corpos tabulares tipificando diques básicos (w). Finalmente, na Estampa 38 tem-se uma relação de um corpo ígneo ácido (gr) com topo convexo, fraturado, sem orientação, cortando metassedimentos (ms), composto por cristas agudas orientadas.



Estampa 36 - Plutônicas e Vulcânicas Ácidas. Interflúvio Mapuera-Cachorro (Pará). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SA.21-V-B. a = vulcânicas ácidas; gr = granitóides. Vide explicações no texto.

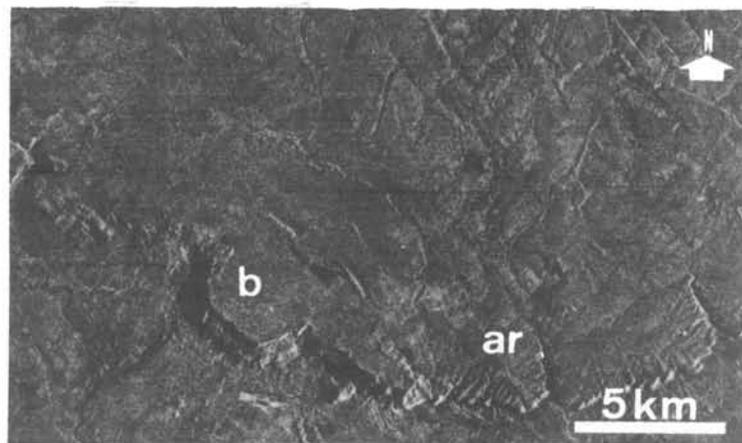


Estampa 37 - Plutônicas Ácidas e Básicas e Vulcânicas Ácidas. Serra da Suretama (Pará). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SA.21-V-B. a = vulcânicas ácidas; b = plutônica básica. Vide explicações no texto.

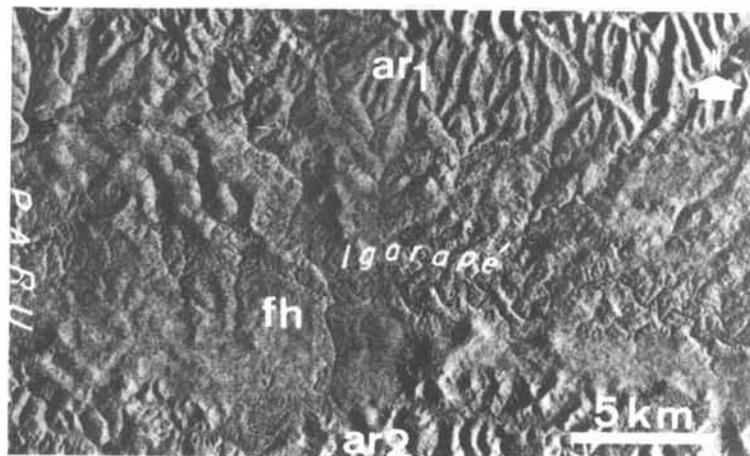


Estampa 38 - Plutônica Ácida e Metassedimentos. Morro da Cara Suja (Bahia). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD.23-X-D. gr = granitóides; ms = metassedimentos. Vide explicações no texto.

As rochas sedimentares estão expressas, principalmente nas Estampas 39, 40 e 41. Na Estampa 39 apresenta-se uma relação muito interessante entre psamitos (ar) e vulcânicas básicas (b). Ambos têm, praticamente o mesmo tipo morfológico, diferindo apenas na configuração das vertentes. Na Estampa 40 tem-se uma importante relação entre psamitos (ar) e pelitos (fh), ressaltando-se que a distinta resistência à erosão dos dois tipos litológicos é marcada por importante quebra de relevo. Observar a presença de feições planares bem desenvolvidas em ar1., sob a forma de "V". A terceira ilustração desta classe de rocha, Estampa 41, retrata terrenos carbonáticos tipificados pela presença de dolinas (d), escassez de drenagem e zonas com forte retorno, feições relativas à topografia cárstica.



Estampa 39 - Vulcânicas Básicas e Psamitos. Serra do Tapirapuã (Mato Grosso). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD.21-Z-A. b = vulcânicas básicas; ar = arenitos. Vide explicações no texto.

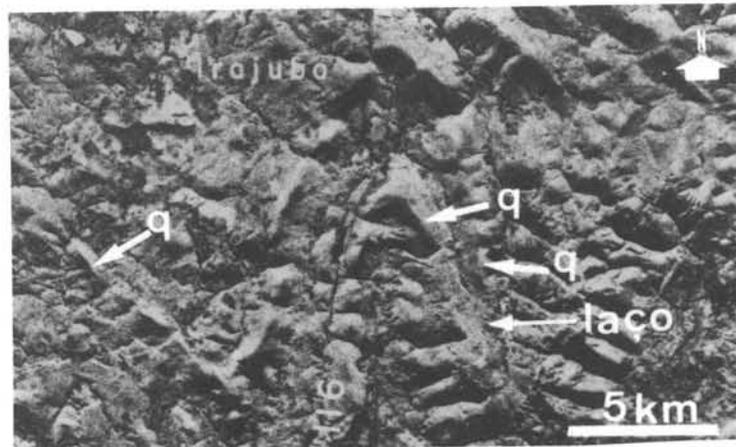


Estampa 40 - Psamitos e Pelitos. Alio Erepecuru (Pará). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SA.21-X-C. ar1 e ar2 = arenitos; fh = folhelhos. Vide explicações no texto.

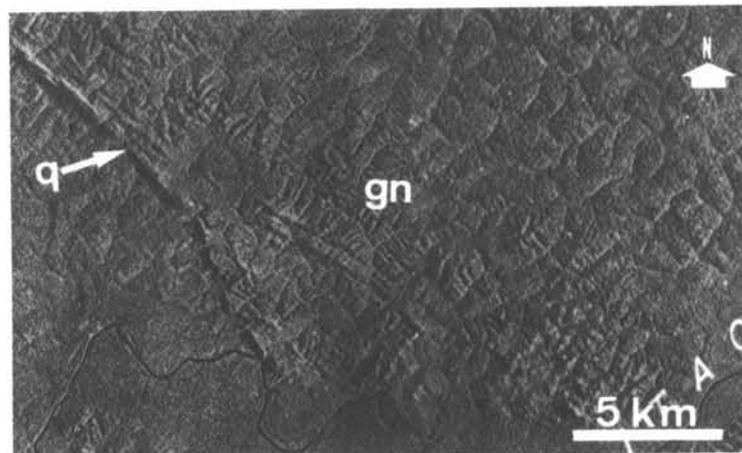


Estampa 41 - Carbonatos. Região de Sete Lagoas (Minas Gerais). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976: Folha SE.23-Z-C. d = dolinas. Vide explicações no texto.

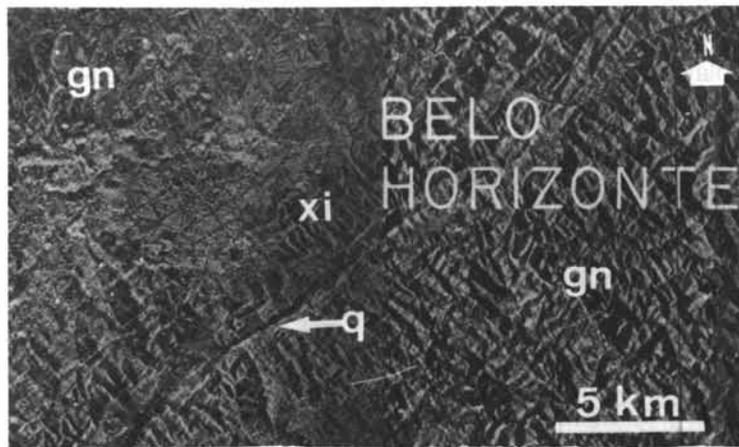
Para a classe de rochas metamórficas a Estampa 42 mostra a presença de cristas dominadas por quartzitos (q), associado a rochas granulíticas, compondo estruturas dobradas. A Estampa 43 retrata uma importante inter-relação entre quartzitos (q), compondo cristas e gnaisses (gn) dominando o terreno arrasado, com intenso ravinamento e certa orientação de seus morros. A Estampa 44 evidencia uma relação semelhante à da estampa anterior, no entanto acrescida pela presença de xistos (xi).



Estampa 42 - Granulitos e Quartzitos. Região de Irajuba (Bahia). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SD.24-V-D. q = quartzitos; gn = gnaisses. Vide explicações no texto.



Estampa 43 - Quartzitos e Gnaisses. Serra de Boritirama (Pará). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SB.22-X-C. q = quartzitos; gn = gnaisses. Vide explicações no texto.



Estampa 44 - Quartzitos, Xistos e Gnaisses. Região de Belo Horizonte (Minas Gerais). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SE.23-Z-C. q = quartzitos; gn = gnaisses; xi = xistos. Vide explicações no texto.

Pelo que se pôde observar, a identificação de litótipos em imagens RVL requer um exame minudente de aspectos relativos às feições planares e lineares, até a configuração de topo e pendente dos morros envolvidos, conforme está explicitado nas Tabelas 6 a 9.

## 7.2 Discordâncias

Para a identificação de discordâncias em imagens RVL necessária se faz a delimitação com minudência das feições lineares, planares e tabulares, a fim de que sejam estabelecidas as relações espaciais entre as mesmas. Em princípio, para que se possa interpretar uma discordância basta que as estruturas acima referidas desapareçam ou sejam truncadas por outra.

Dos quatro tipos de discordância conhecidos na literatura geológica apenas a paradiscordância não pode ser interpretada nas imagens RVL (Figura 72). As angular, litológica e erosiva serão detectadas desde que haja uma dependência entre formas de relevo e a estrutura. Analisando cada situação verifica-se que a discordância litológica será mais bem alcandorada no caso ígnea X sedimentar e sedimentar X metamórfica. Idêntica situação dar-se-á com a discordância erosiva, ressaltando-se que as classes das rochas sedimentares *versus* metamórficas são mais fáceis de serem observadas. Finalmente, no caso da discordância angular o fator geométrico pesará bastante na avaliação, assim como a análise das feições lineares, planares e tabulares.

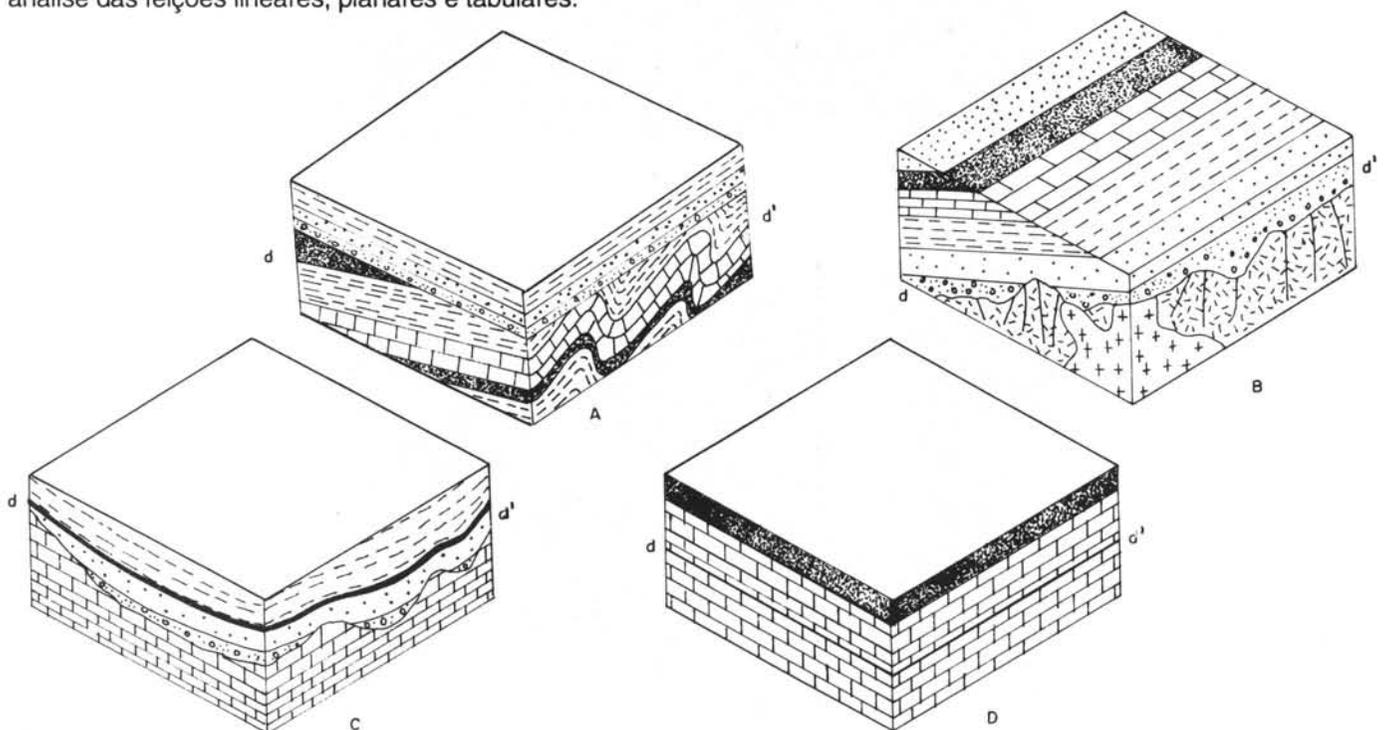
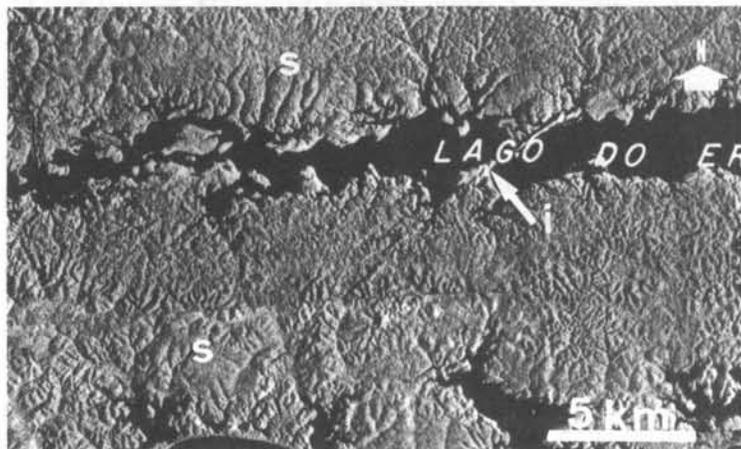
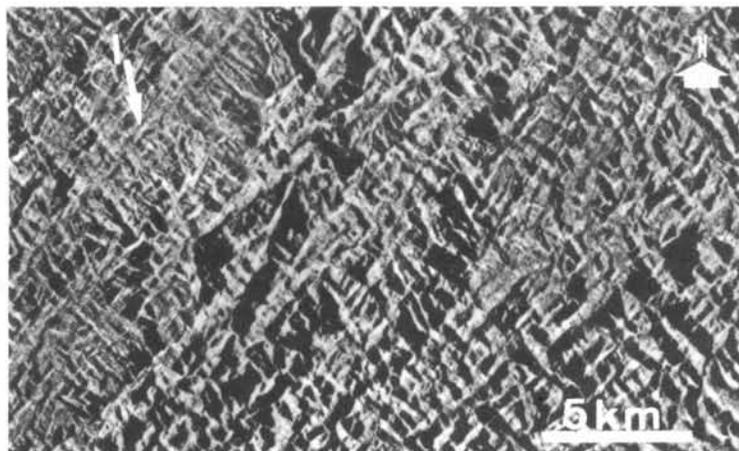


Figura 72 - Os Quatro Tipos de Discordâncias: A-Angular - B-Litológica - C-Erosiva; D-Paralela ou Paradiscordância. dd'-Representa a superfície de discordância (Loczy e Ladeira, 1980).

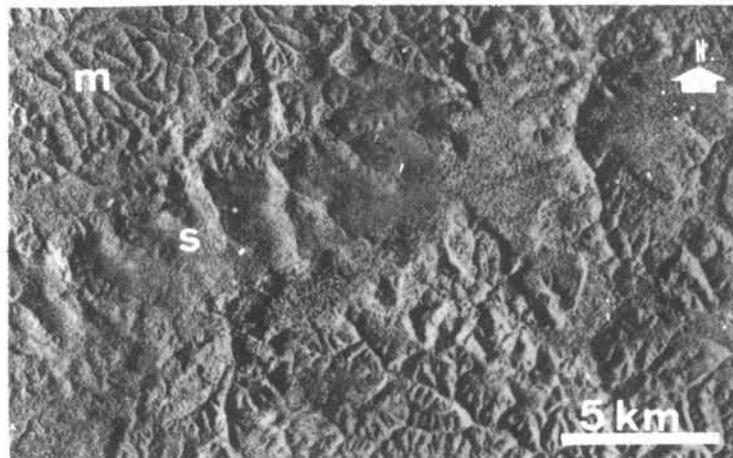
As Estampas 45, 46 e 47 constituem exemplos de discordâncias passíveis de serem observadas em imagens RVL, cujos produtos da interpretação são evidenciados nas Figuras 73, 74 e 75, respectivamente. Em tais interpretações procurou-se estabelecer os contatos entre classes de rochas, assim como enriqueceu-se com dados estruturais, tipificados por feições planares, lineares e tabulares.



Estampa 45 - Discordância Erosiva. Lago do Erepecu (Pará). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SA.21-X-C. s = rocha sedimentar; i = dique de rocha ígnea. Vide explicações no texto.



Estampa 46 - Discordância Angular. Leste de Juiz de Fora (Minas Gerais). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SF. 23-X-D. l = estrutura linear. Vide explicações no texto.



Estampa 47 - Discordância Angular e Erosiva. Nordeste do Jari (Amapá). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SA.21-V.B. s = rocha sedimentar; m = rocha metamórfica. Vide explicações no texto.

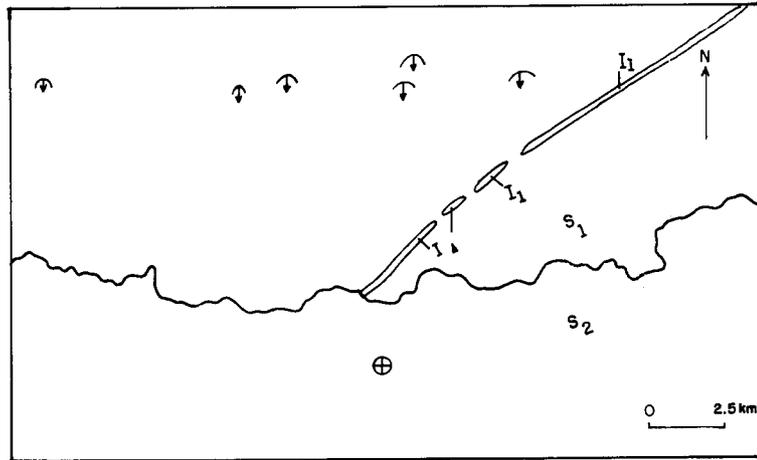


Figura 73 - Discordância Erosiva. Folha SA. 21-X-C (Cf. Estampa 45).



Figura 74 - Discordância Angular. Folha SF. 23-X-D (Cf. Estampa 46).

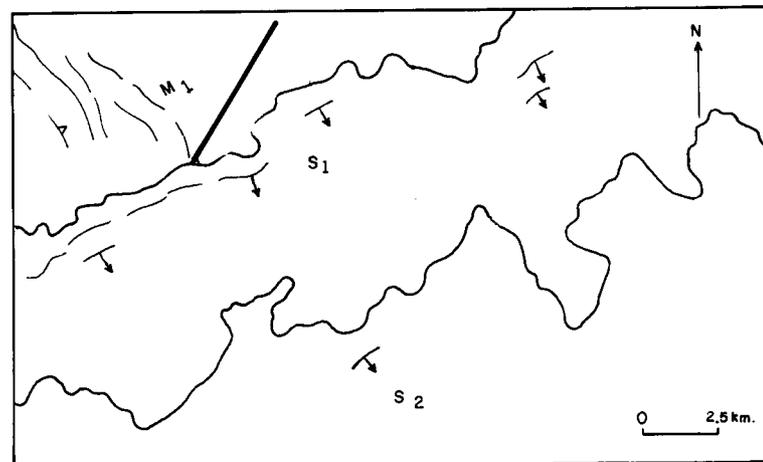


Figura 75 - Discordância Angular e Erosiva. Folha SA. 21-V-B (Cf. Estampa 47).

A Estampa 45 exemplifica a situação geológica em que duas seqüências sedimentares se diferenciam pelo fato de uma (S1) estar cortada por um dique (I1), ao passo que a outra não (S2). Na Estampa 46 a relação é essencialmente geométrica entre estruturas lineares em terrenos metamórficos de médio a alto grau. Por sua vez, a Estampa 47 retrata o limite entre uma seqüência metamórfica (M1) e uma sedimentar (S1).

### 7.3 Estruturas Circulares

O termo estrutura circular, já bastante enraizado na literatura fotogeológica, teve um grande avanço com o advento das imagens orbitais do tipo LANDSAT, SPOT, KOSMOS e, principalmente, com as imagens RVL, cuja principal característica é o ressalto das feições morfológicas.

Fato interessante é que as chamadas estruturas circulares dificilmente têm a forma circular, havendo dominância da configuração elíptica. Por outro lado, o intérprete que estiver realmente interessado em encontrá-las poderá ver centenas das mesmas, em especial se observadas em imagem RVL.

Genericamente, para que se “possa pensar” em uma estrutura circular duas características são deveras importantes: presença de feições lineares e/ou tabulares na periferia e/ou no interior da circular. Se a estas for acrescida a presença de feições planares (convergentes ou divergentes) e drenagem anelar, caracteriza-se preliminarmente a estrutura circular. Agora resta saber sua conexão com corpos ígneos, dobramentos ou astroblemas.

As estruturas circulares podem relacionar-se a corpos ígneos intrusivos sob a forma de *stocks* ou bossas, a dobramentos (domos e bacias), ou então a astroblemas. A seguir, apresentam-se os critérios para identificação das estruturas circulares em corpos ígneos. No caso de dobramentos os critérios para identificação serão abordados posteriormente.

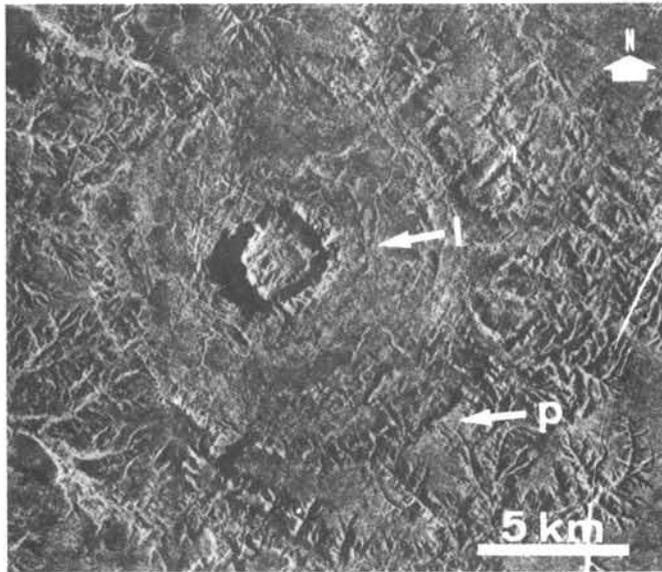
Critérios para identificação de estruturas circulares (corpo ígneo):

- morfologia geralmente elíptica, secundariamente circular em “oito”;
- relevo quando positivo, mostra relação textura/tom díspares com as rochas circundantes;
- feições lineares negativas (fraturas) distintas em relação às rochas encaixantes;
- padrões de drenagem anelar, centrípeto ou radial;
- relacionados a lineamentos estruturais ou na interseção dos mesmos;
- feições tabulares envolvendo a estrutura;
- feições lineares dispostas concordantemente na periferia da estrutura;
- efeito da intrusão nas encaixantes;
- presença de zonas deprimidas na porção central do corpo; e
- ocorrência de círculos concêntricos no corpo.

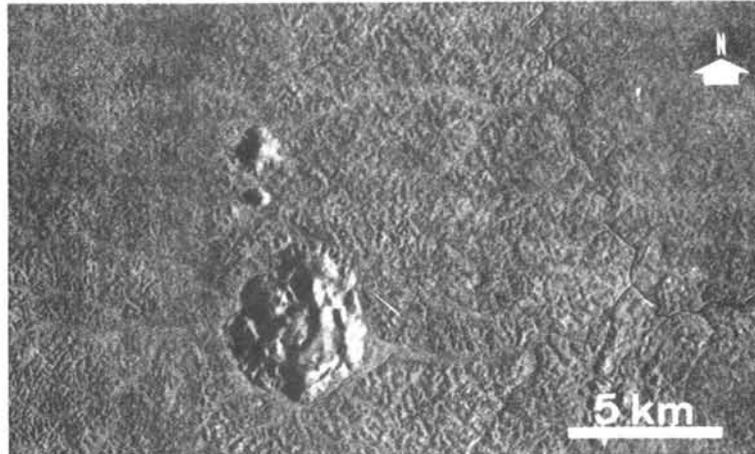
A identificação de astroblemas já é uma tarefa difícil quando investigada no terreno, quanto mais de maneira indireta. No entanto, alguns critérios são válidos para o caso de rochas sedimentares, como seja a presença de mergulho centrípeto das feições planares no centro da estrutura e centrífugo na periferia, além da natural inversão de relevo na porção central. No caso de terrenos metamórficos não existem critérios definidos, merecendo no entanto atenção as feições circulares, com a porção central deprimida.

Ainda em relação aos astroblemas ressalta-se que os mesmos podem ser confundidos com estruturas criptovulcânicas e halocinéticas, necessitando por conseguinte de verificação de campo.

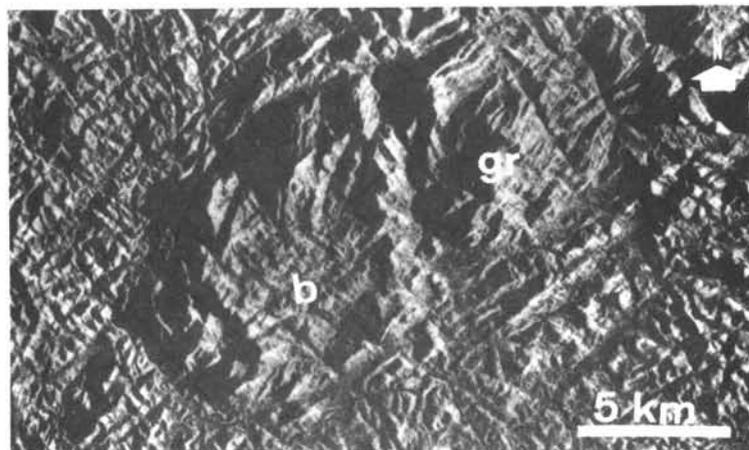
A fim de exemplificar o item referente a estruturas circulares selecionaram-se três estampas visando a ilustrar o que foi discorrido. As Estampas 48, 49 e 50 retratam clássicos exemplos brasileiros de estruturas circulares, cujas interpretações estão apresentadas nas Figuras 76, 77 e 78, respectivamente. Indicações de informações litológicas e dados estruturais são também mostrados (vide Legendas 5 e 6). A Estampa 48 representa um astroblema da Serra da Cangalha (Tocantins) consoante trabalhos desenvolvidos por Beatty (1980). Constitui uma feição anômala em terrenos sedimentares de acamamento horizontal. Mostra como caracteres marcantes a presença de feições lineares e tabulares circundando a feição, assim como mergulhos divergentes na periferia, convergente no centro e inversão de relevo. A Estampa 49, morro dos Seis Lagos (Amazonas), comprova no corpo alcalino círculos concêntricos, lagos e conformação circular, além da interação de lineamentos. À direita, para sudeste, ocorre corpo básico de forma elipsoidal. A Estampa 50 representa o maciço de Santa Angélica (Espírito Santo), com relevo distinto, forma em oito e porção central deprimida de composição básica (b) como principais traços.



Estampa 48 - Astroblema. Serra da Cangalha (Tocantins). Imagem RVL-GEMS. Banda X, 1971/1972. Folha SC. 23-V-A. l = estrutura linear; p = estrutura planar. Vide explicações no texto.



Estampa 49 - Estrutura Circular. Morro dos Seis Lagos (Amazonas). Imagem RVL-GEMS. Banda X, 1971/1972. Folha NA. 19-Z-D. b = plutônica básica. Vide explicações no texto.



Estampa 50 - Estrutura Circular. Região de Santa Angélica (Espírito Santo). Imagem RVL-GEMS. Banda X, 1975/1976. Folha SF. 24-V-A. b = plutônica básica; gr = granitóide. Vide explicações no texto.

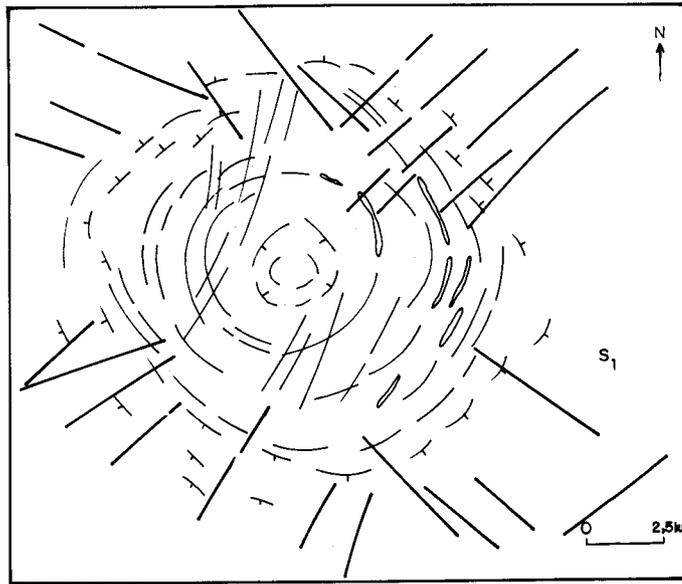


Figura 76 - Estrutura Circular (Astroblema). Folha SC. 23-V-A (Cf. Estampa 48).

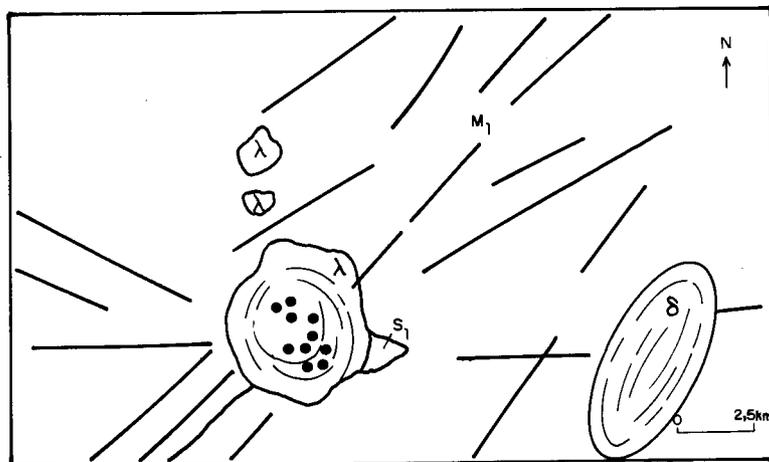


Figura 77 - Estruturas Circulares: alcalina ( $\lambda$ ) e básica ( $\delta$ ). Folha NA. 19-Z-D (Cf. Estampa 49).



Figura 78 - Estrutura Circular. Corpo Ígneo em Oito: básica ( $\delta$ ) e ácida ( $\gamma$ ). Folha SF. 24-V-A (Cf. Estampa 50).

## 7.4 Descontinuidades

Antes de iniciar-se o estudo deste item torna-se necessário que seja introduzido o conceito de nível estrutural, para que se possa de uma maneira pragmática inserir alguns conceitos que serão de grande valia para a radarinterpretação. Mattauer (1967) define nível estrutural como diferentes domínios da crosta em que os mecanismos da deformação parecem iguais.

Em condições de baixa pressão/temperatura as rochas têm um comportamento rúptil. Com o aumento das condições de pressão e temperatura passam a ter um comportamento dúctil e, alcançando seu ponto de fusão, se comportam então como líquidos muito viscosos (Figura 79).

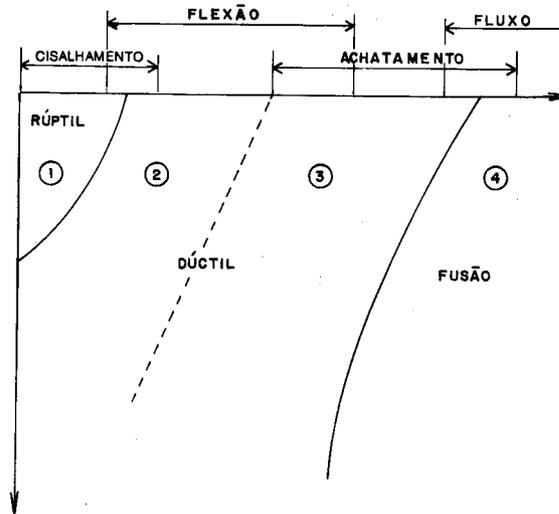


Figura 79 - Comportamento dos Corpos em Função de um Diagrama P-T (Mattauer, 1967).

Em condições de comportamento rúptil a deformação se manifestará sob a forma de planos de ruptura. Ter-se-á um domínio sem dobras, pois que qualquer deformação terá como resultado numerosas fraturas e *falhas*. Dir-se-á que o mecanismo elementar será de falhas rúpteis. Quando a rocha atinge uma certa ductilidade, a mesma pode deformar-se sem romper-se, formando-se então dobras. Em condições de baixa ductilidade o mecanismo dominante será de flexão e formar-se-ão dobras isópacas. Um estágio mais evoluído provocará nas rochas um achatamento mais generalizado com o desenvolvimento da xistosidade, sendo as dobras anisópacas. Neste caso o mecanismo elementar é de achatamento. Finalmente, nas grandes profundidades, as rochas estão a uma temperatura próxima ou superior a seu ponto de fusão, se comportando como líquidos mais ou menos viscosos, dando origem às dobras de fluxo. O mecanismo elementar é de fluxo. Formam-se dobras de fluxo (Figuras 80 e 81).

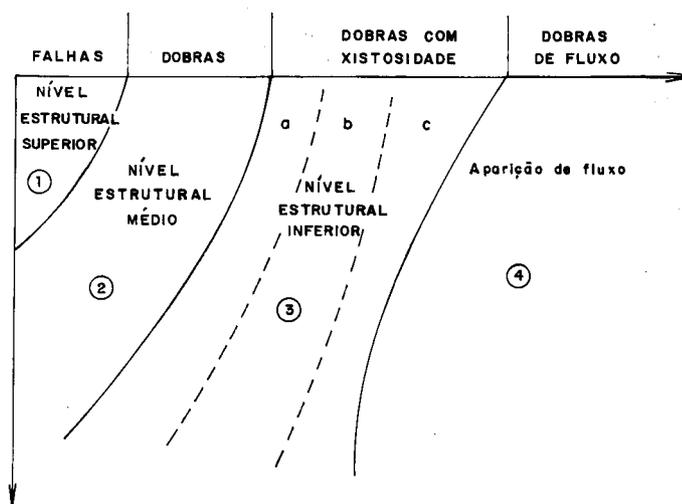


Figura 80 - Relação dos Níveis Estruturais em um Diagrama P-T (Mattauer, 1967).

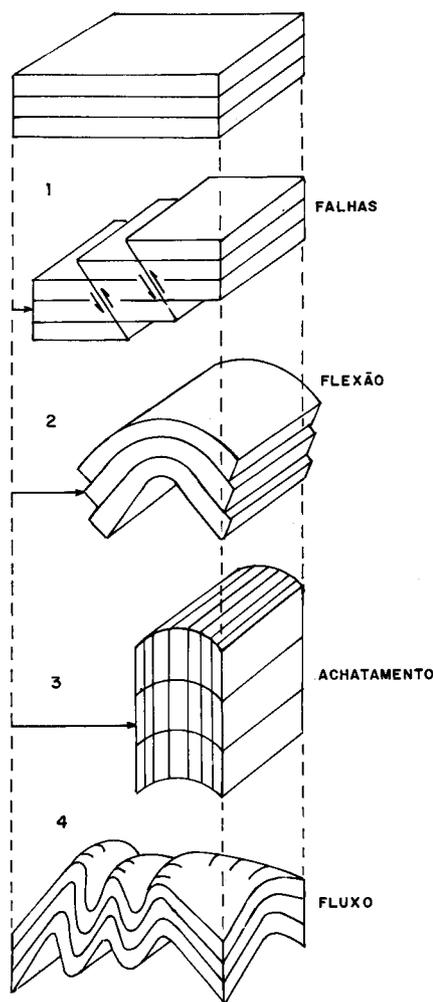


Figura 81 - Mecanismos de Deformação (Cf. Figuras 79 e 80) (Mattauer, 1967).

O Nível Estrutural Superior caracteriza-se pela presença de fraturas e *falhas* sem o desenvolvimento de dobras. Por outro lado, no Nível Estrutural Médio o mecanismo dominante é de flexão com o desenvolvimento de amplos dobramentos. No entanto, no Nível Estrutural Inferior o mecanismo dominante é de achatamento, em vista da presença de pressão dirigida e fluxo. Constitui o aparecimento da xistosidade, gnaissificação, bandamento e em condições extremas a granitização e migmatização (Figura 82).

Fraturas constituem um termo genérico para designar os planos de partição das rochas; no entanto quando existir deslocamento entre tais planos, a fratura recebe a designação de falha.

Como já visto, o domínio das fraturas e *falhas* situa-se essencialmente no Nível Estrutural Superior, em vista de seu caráter rúptil. Por outro lado, nos níveis estruturais médio e inferior, os mesmos inexistem, dando lugar às falhas de cunho dúctil-rúptil e dúctil, *designadas de zonas de cisalhamento*. Obviamente que as falhas no Nível Estrutural Superior serão rúpteis.

Em termos radargeológicos a identificação de uma fratura é tarefa relativamente simples, constituindo uma estrutura linear negativa, a qual é bastante ressaltada nas imagens RVL, em vista da visada lateral deste sensor.

Para a delimitação de fraturas precisa-se de rígidos critérios, a fim de que o seu traçado forneça o máximo de informações, evitando-se o traçado exaustivo e o escasso, por questões óbvias. Por isso, deve-se traçá-la com grafite vermelho, apenas na parte negativa (feições lineares negativas). Seu comprimento mínimo deve ser de 1,5 cm, a fim de conferir idéia de orientação, pois que se os traços forem muito pequenos darão um aspecto semelhante a "ciscado de pinto", no qual será difícil definir uma orientação preferencial.

Sugere-se aqui uma classificação descritiva para as fraturas, uma vez que a de caráter genético é praticamente impossível. Desse modo, defende-se uma classificação baseada em relação a uma estrutura planar, primária ou secundária. Portanto, têm-se fraturas longitudinais, transversais e diagonais. No caso de corpos ígneos utiliza-se tal classificação em relação à forma geométrica do corpo, sendo as fraturas longitudinais, transversais, diagonais e circulares. Neste último caso seriam aquelas que circundam o corpo internamente (Figura 83).

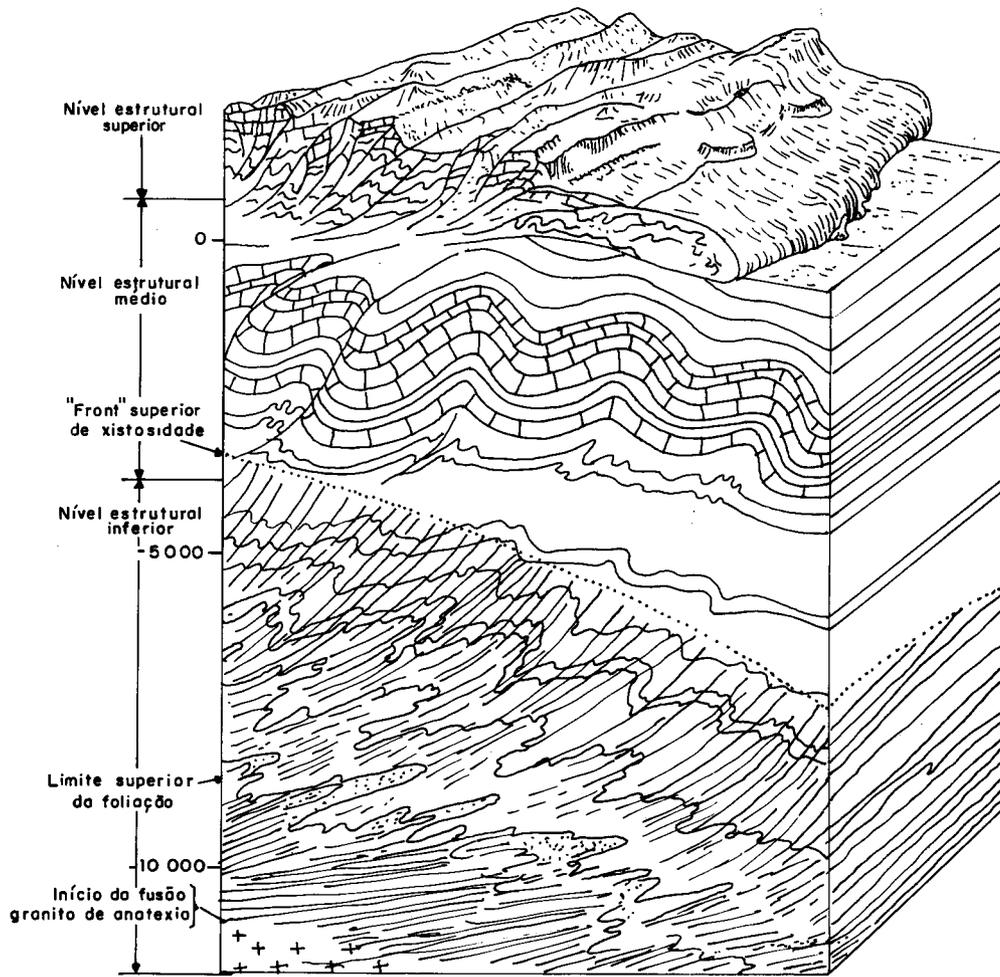


Figura 82 - Níveis Estruturais (Mattauer, 1967).

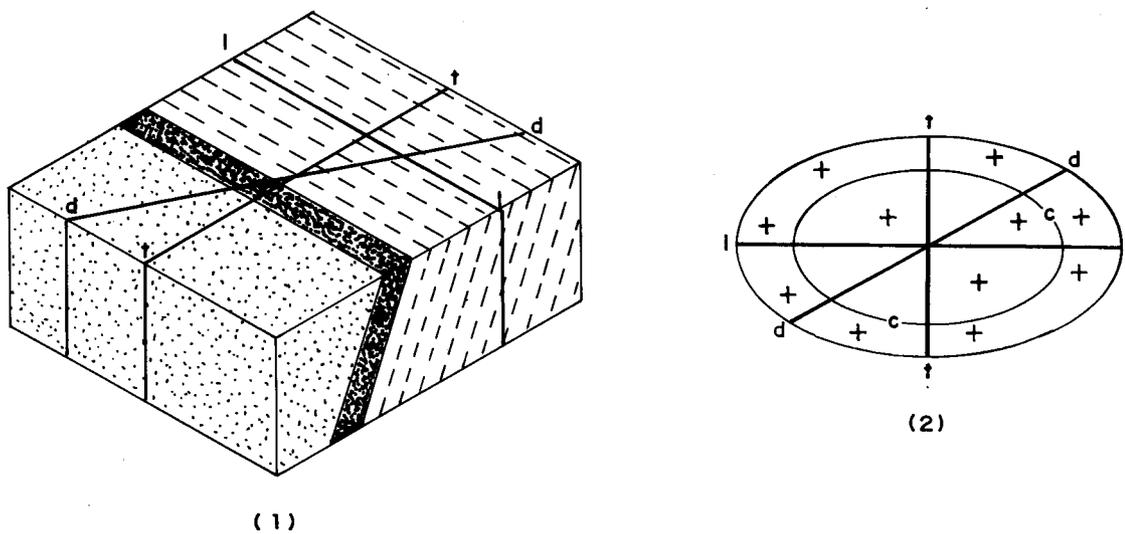


Figura 83 - Classificação Descritiva de Fraturas. 1 - Bloco diagrama de uma estrutura planar. 2 - Planta de um corpo ígneo. l - longitudinal; t - transversal; d - diagonal; c - circular.

Pode-se perfeitamente utilizar as fraturas para identificação de litótipos, em especial aqueles do grupo das rochas ígneas, em vista da grande incidência de fraturas circulares, como também o desenvolvimento de formas elípticas.

Os principais critérios que podem indicar ao radarintérprete a possível indicação de falhamento são:

- persistência de *feições lineares negativas* por grandes extensões;
- *feições lineares negativas* ligadas a estruturas tabulares e lineares;
- cristas, morros e serras deslocadas;
- facetas triangulares;
- zonas morfológicas retilíneas;
- mudança brusca de tipos litológicos;
- truncamento de feições tabulares e/ou lineares;
- feição geomórfica representativa de escarpa de falha; e
- retilinearidade da drenagem.

Após a identificação da paráclase torna-se necessário classificá-la. Sugere-se a classificação baseada em seu movimento aparente, assim denominada: normal, inversa e direcional, indicadas na Figura 84a,b,c como de movimento relativo por questões didáticas. Obviamente que, além dos critérios acima listados, necessário se faz que algumas formas do terreno possibilitem a utilização da classificação acima.

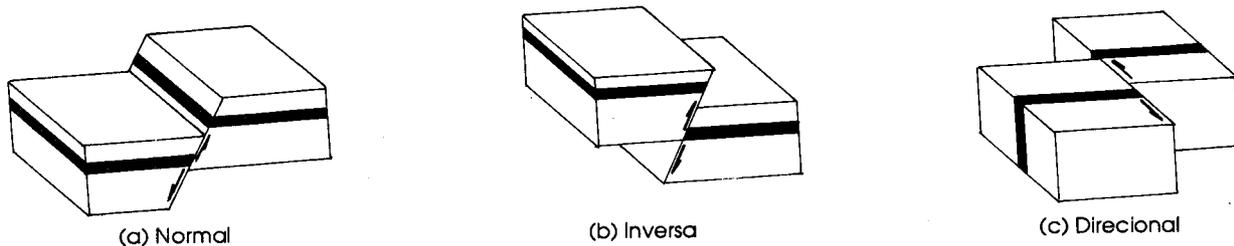


Figura 84a, b, c - Falhas quanto ao Movimento Aparente. (a) Normal (b) Inversa (c) Direcional

Tanto a falha normal como a direcional vão depender exclusivamente da morfologia do terreno, como por exemplo a formação de escarpa de falha e a presença de formas de relevo deslocadas (Z ou S). Por outro lado, a feição diagnóstica para identificação de uma falha inversa será, sem dúvida, a grande incidência de feições planares, relacionadas com descontinuidades ou truncamento de estruturas geológicas. O ângulo da feição planar vai determinar se a falha é de baixo, médio ou alto ângulo, cujo mergulho será indicativo do plano de falha, devendo ser concordante com a mesma.

A identificação de zonas de cisalhamento normal, direcional e inversa pode ser feita em imagens RVL, desde que sejam traçadas com minudência as feições lineares, positivas e negativas, e as estruturas planares e tabulares.

Para as zonas de cisalhamento direcionais, os principais critérios são:

- sigmóides desenhados por feições lineares positivas e tabulares;
- romboedros desenhados por feições lineares negativas;
- formas em "S" ou "Z" desenhadas por feições lineares positivas ou por feições tabulares;
- formas amendoadas desenhadas pelas feições lineares positivas; e
- presença de duas gerações de feições planares, à semelhança das estruturas S-C, onde S seria a primária e C a secundária.

Para as zonas de cisalhamento normais advogam-se como principais critérios:

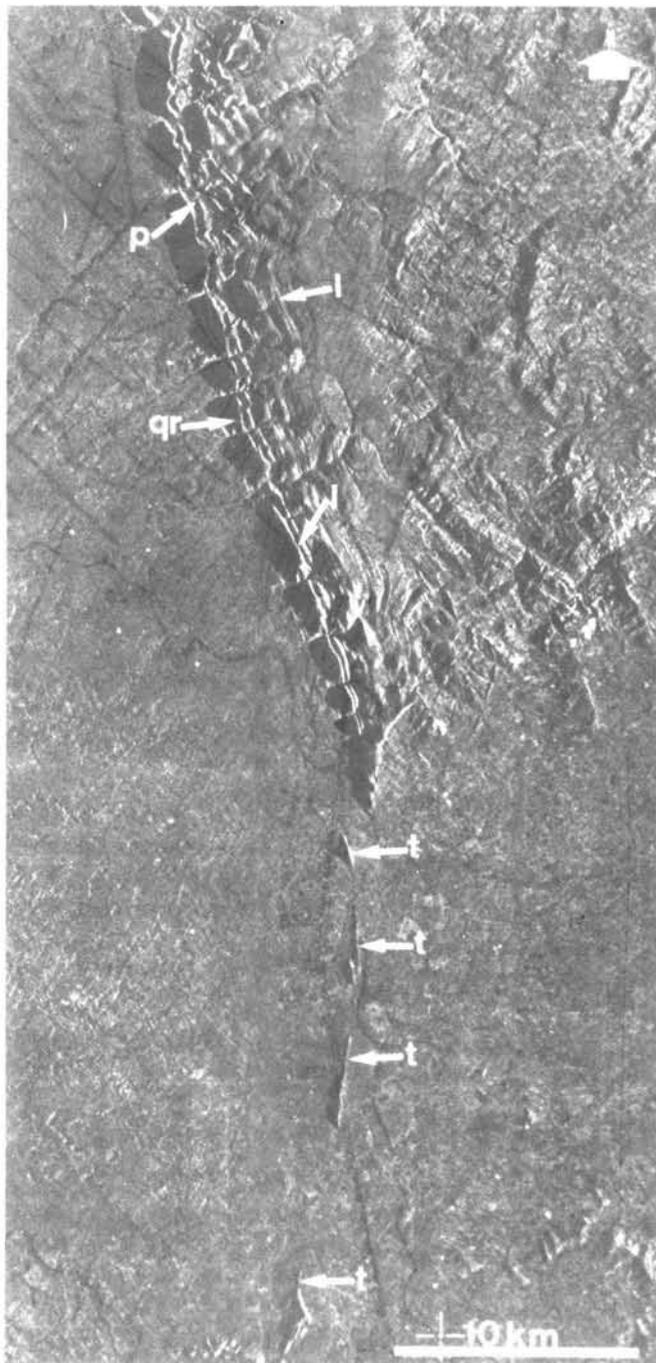
- formas de relevo positivas, orientadas e com desníveis retilíneos; e
- traços da drenagem com alto ângulo de junção, e tropia uni a bidirecional.

Por sua vez, as falhas inversas ou zonas de cisalhamento inversas têm como principais características:

- presença de feições planares relacionadas a descontinuidades;
- feições planares com mergulho sempre para o mesmo lado;
- presença de acamamento invertido; e
- associação com feições lineares positivas sigmoidais ou negativas romboédricas.

Hasui & Costa (1991) listam e ilustram com propriedade uma série de critérios cinemáticos utilizados em zonas de cisalhamento de amplitude microscópica, mesoscópica e megascópica. Tomando-se como base que as feições lineares positivas relacionam-se ao traço da foliação ou acamamento, as feições lineares negativas a juntas, e que as feições tabulares correspondem a níveis guias, pode-se perfeitamente adaptar tais critérios à interpretação radargeológica como pode ser visto na Estampa 51.

A Estampa 51 exemplifica com propriedade alguns critérios próprios de zona de falha, como sejam: presença de corpos tabulares (t), quebra abrupta de relevo (qr) e grande extensão da descontinuidade. Ressalte-se que a interpretação de falhamento inverso está ligada às feições planares (p) desenvolvidas. Na Figura 85 apresenta-se uma interpretação da Estampa 51, na qual estão delimitados contatos fotogeológicos, classes de rochas e dados estruturais.



Estampa 51 - Falha Inversa de Alto Ângulo. Serra do Espinhaço (Minas Gerais). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD. 23-Z-D. t = estrutura tabular; l = estrutura linear; p = estrutura planar; qr = quebra de relevo. Vide explicações no texto.

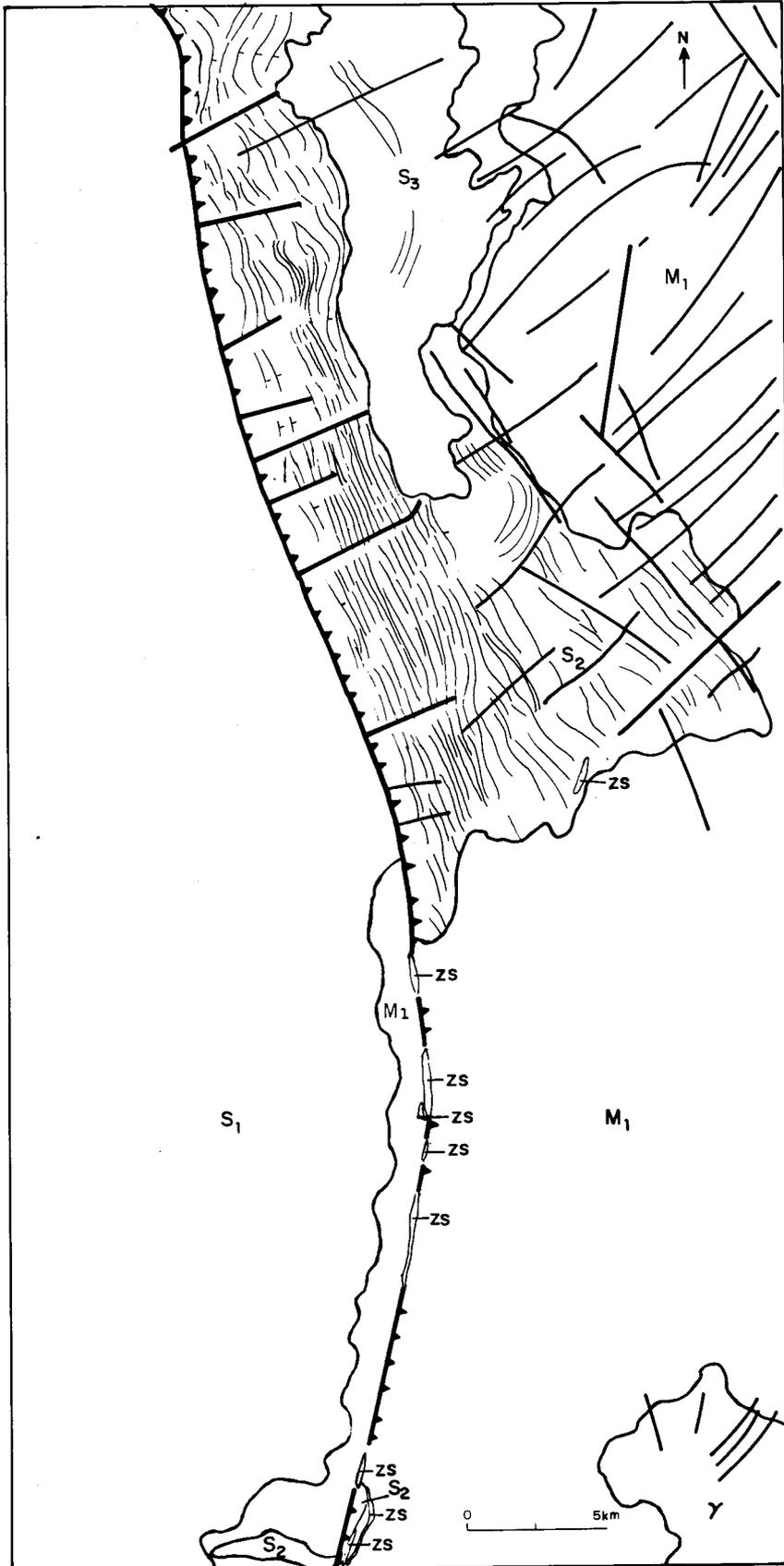


Figura 85 - Falha Inversa de Alto Ângulo. Folha SD. 23-Z-D (Cf. Estampa 51).

## 7.5 Dobras

Para que exista dobramento, necessário se faz que as rochas atinjam o estado plástico, sendo que tal situação só ocorre nos níveis estruturais médio e inferior, embora no Nível Estrutural Superior possam ocorrer amplos dobramentos (flexões).

Para identificação de dobramentos em imagens RVL basta que o radarintérprete domine com segurança a identificação de feições planares e seu mergulho, e que não exista o problema de sombras que provoquem o mascaramento ou ambigüidade na interpretação de grande parte das feições.

Na Figura 86 apresentam-se as partes componentes de uma dobra, destacando-se o "eixo" de grande importância da identificação do caráter sinformal ou antiformal, das estruturas dobradas (Figuras 87 e 88). No caso de antiformal o eixo mergulha no sentido do fechamento do nariz, o inverso ocorrendo nas estruturas sinformais.

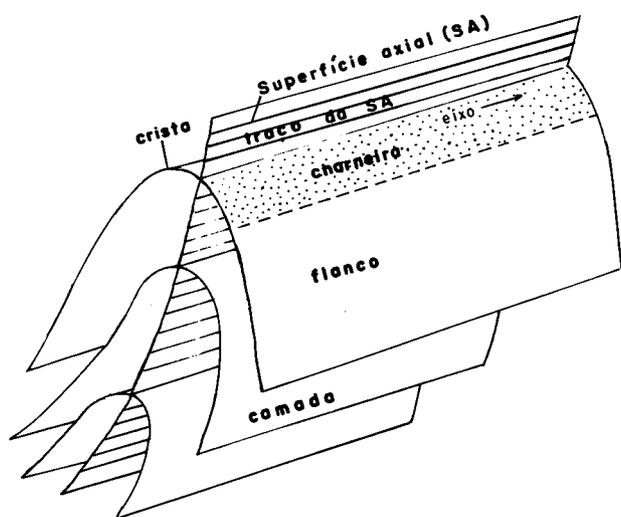


Figura 86

Elementos Geométricos de uma Dobra (Hobbs et al., 1976).

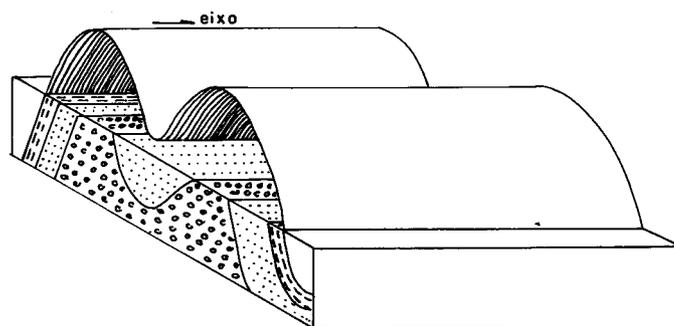


Figura 87 - Dobras sem Caimento (Loczy e Ladeira, 1980).

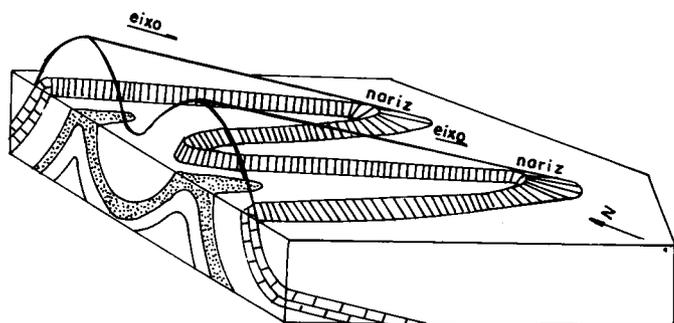


Figura 88 - Dobras com Caimento (Loczy e Ladeira, 1980).

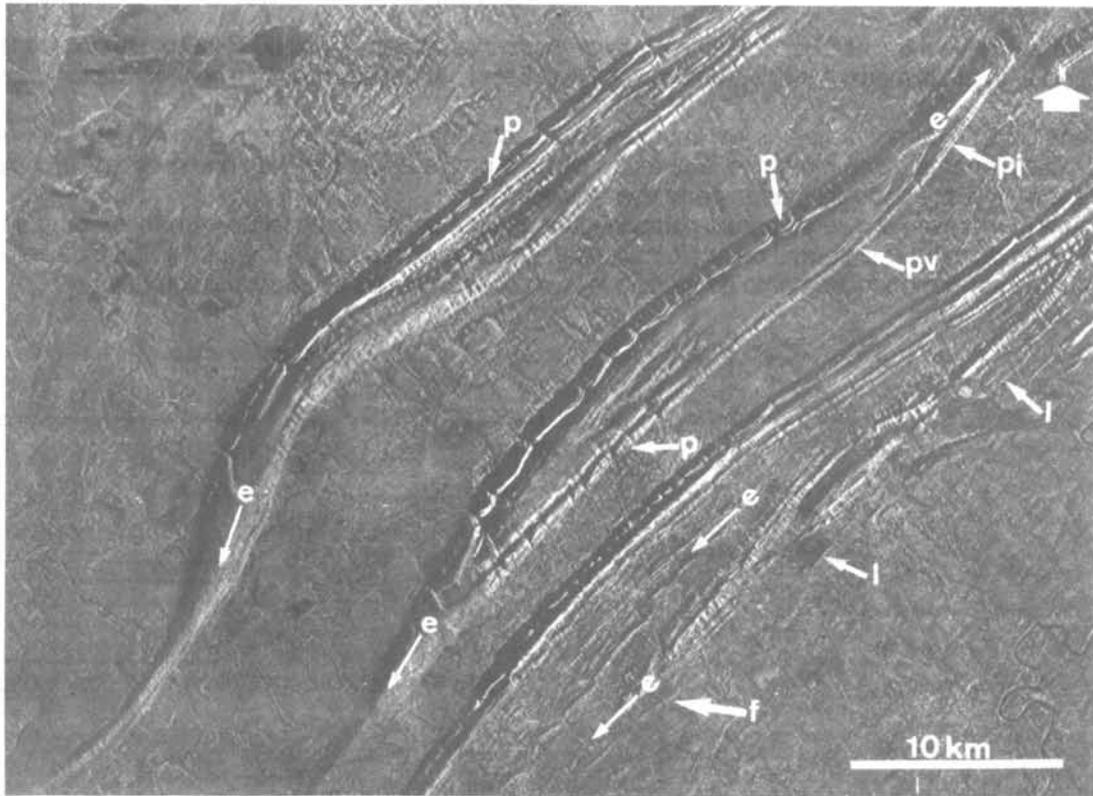
Um método bastante utilizado na identificação de dobras é o chamado método dos polígonos, que consiste, em essência, na delimitação de feições tabulares, aqui representadas por pequenos polígonos, na identificação de parâmetros que caracterizam uma dobra, conforme exemplificado na Figura 67. Por outro lado, através das feições lineares também é possível interpretar estruturas dobradas, sem, no entanto, precisar seu caráter antiformal e sinformal.

A seguir, apresentam-se os principais critérios utilizados para identificação de estruturas dobradas:

- morfologia sinformal ou antiformal;
- formas de relevo alongadas ou em ziguezague (Z ou S);
- convergência ou divergência de feições planares;
- terminação periclinal desenhada pelas feições lineares; e
- associação com falhas de cisalhamento de grande amplitude.

Objetivando ilustrar os principais parâmetros relativos às estruturas dobradas selecionou-se a Estampa 52, como modelo. Ademais, a interpretação relativa à referida ilustração encontra-se retratada na Figura 89, com as devidas indicações de contatos, classes de rochas e informações de cunho estrutural. Para as convenções consultar as Legendas 5 e 6.

As principais feições morfológicas da Estampa 52 encontram-se dispostas de forma oblíqua à varredura de radar, o que de certa forma favorece a identificação de feições planares (p) e lineares (l). Ademais, merece destaque a inversão de feições planares em (pi), a nordeste da estampa, ressaltando-se sua disposição vertical anterior (pv). Com efeito, tal feição também se repete nas estruturas a leste e oeste, porém com menor ressaltamento. Também é marcante a presença do eixo (e) com mergulho para o fechamento do nariz (terminação periclinal), indicativo do caráter antiformal das estruturas em lide. Também pode-se observar as zonas de charneiras dos anticlínios, que devido à erosão apresentam-se desventrados. O limite a sudeste da estampa é por falha (f).



Estampa 52 - Estruturas Dobradas em Metassedimentos de Baixo Grau. Serra do Tira Sentido (Mato Grosso). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD.21-Z-A. l = estruturas lineares; p = estruturas planares; pi = feições planares invertidas; pv = feição planar vertical; e = eixo; f = falha. Vide explicações no texto.

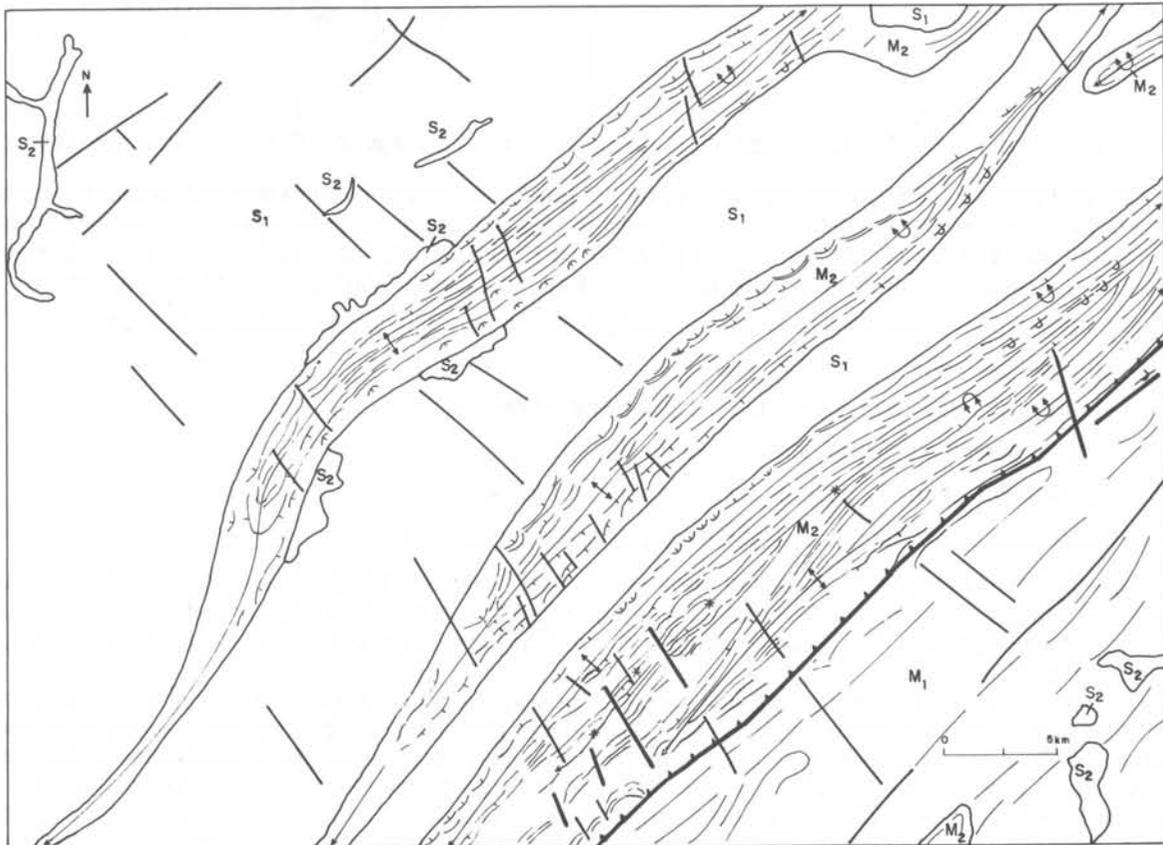


Figura 89 - Estruturas Dobradas em Metassedimentos de Baixo Grau. Folha SD. 21-Z-A (Cf. Estampa 52).

## 7.6 Redobramentos

O estudo tridimensional de estruturas relativas à superposição de dobramentos e sua representação no plano, em escala mesoscópica, teve seu início na década de 50 no continente europeu. No entanto, somente na década seguinte Ramsay (1962 e 1967) apresenta uma análise minudente e classificação dessas estruturas cognominadas de "Modelos de Interferência". Com efeito, deve-se a Whitten (1966) uma abordagem mais profunda da representação de tais modelos em escala regional.

A superposição de dobramentos é uma feição estrutural que pode ser relacionada a um dos seguintes eventos geológicos (Ramsay, 1967):

- cruzamento de faixas orogênicas;
- fases de deformação distintas em um único ciclo orogênico;
- dobramentos sucessivos em uma única fase de deformação progressiva; e
- dobramento simultâneo em diferentes direções em uma única deformação.

Outrossim, os modelos de interferência são identificáveis em qualquer escala, seja ela micro, meso ou megascópica, e parece existir uma correspondência entre as mesmas, ou seja, se determinado modelo de interferência for identificado em escala megascópica, tal fato deve se repetir em outras escalas. Acrescente-se ainda que para nucleação de tais estruturas é necessário que as fases de dobramento tenham aproximadamente a mesma ordem de grandeza.

A classificação desses modelos e suas relações geométricas são adjudicadas a Ramsay (1967) que identificou três tipos distintos. Para separação entre os mesmos o citado autor utilizou os seguintes parâmetros (Figura 90):

- ângulo entre os eixos das duas fases de dobramento ( $\alpha$ ); e
- ângulo entre o pólo da superfície axial da primeira dobra e a perpendicular ao eixo da segunda dobra, contido no seu plano ( $\beta$ ).

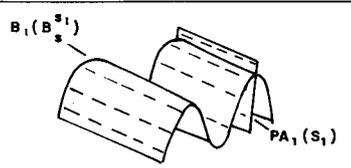
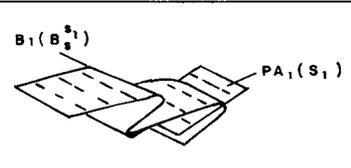
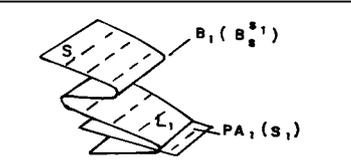
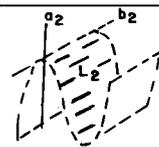
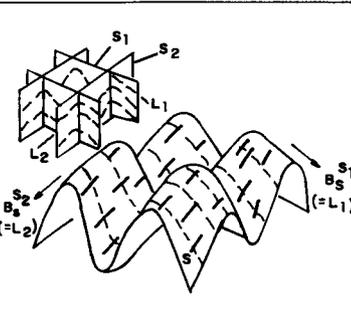
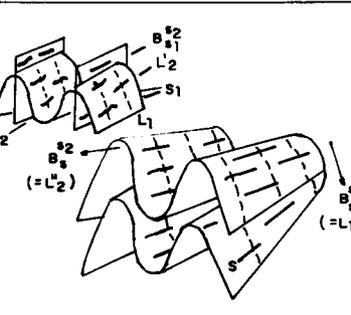
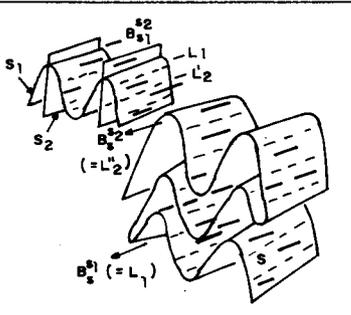
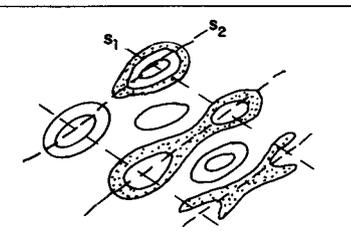
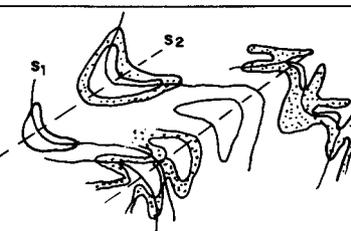
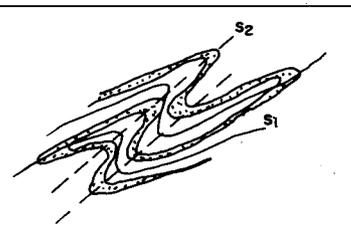
	TIPO 1 "DOMO E BACIA" OU "CAIXA DE OVOS"	TIPO 2 "BUMERANGUE" OU "COGUMELO"	TIPO 3 "REDOBRAMENTO COAXIAL" OU "LAÇO"
	$\alpha > 0 \quad \beta > 70^\circ$	$\alpha > 20^\circ \quad \beta < 70^\circ$	$\alpha \approx 0 \quad \beta < 70^\circ$
F <sub>1</sub>			
F <sub>2</sub>	$\alpha = b_1 \wedge b_2$		$\beta = 1 \text{ PA}_1 \wedge \alpha_2$
F <sub>2</sub> /F <sub>1</sub> (MODELO TRIDIMENSIONAL)			
F <sub>2</sub> /F <sub>1</sub> (AFLORAMENTO EM PLANO HORIZONTAL)			

Figura 90 - Padrões de Interferência de Dobramentos (segundo Ramsay, 1967).

Em resumo, os modelos de interferência têm as seguintes características:

- TIPO 1 (Domo e Bacia ou Caixa de Ovos): a direção do fluxo do movimento superposto ( $a_2$ ) é próxima à direção das superfícies axiais das primeiras dobras ( $\alpha > 0$  ;  $\beta < 70^\circ$ );
- TIPO 2 (Bumerangue ou Cogumelo): a direção de fluxo do movimento superposto ( $a_2$ ) forma um ângulo grande com a superfície axial das primeiras dobras, e o eixo das primeiras dobras configura um ângulo de valor mediano a grande com a direção de  $b_2$  ( $\alpha > 20^\circ$ ;  $\beta > 70^\circ$ ); e
- TIPO 3 (Laço ou Coaxial): direção de fluxo do movimento superposto ( $a_2$ ) forma um ângulo grande com a superfície axial das primeiras dobras, e o eixo das primeiras dobras se aproxima da direção  $b_2$  , ( $\alpha \approx 0$ ;  $\beta < 70^\circ$ ).

Para interpretação de "Modelos de Interferência" mais uma vez se torna necessário o discernimento de estruturas lineares e planares. Os principais critérios são:

- encurvamento de feições lineares e planares;
- presença de dois ou mais sets de feições lineares;
- interação entre feições lineares e tabulares; e
- conformação em "laços", "bumerangue" ou "circular" das feições tabulares e/ou lineares.

A presença de redobramentos está bem evidenciada nas Estampas 6, 32 e 42, dentre os exemplos até aqui apresentados e nas três ilustrações fica evidente a presença do modelo de interferência tipo 3 (laço).

# EXEMPLOS PRÁTICOS

## 1 Introdução

O presente capítulo vai constituir uma aplicação dos conceitos e técnicas metodológicas descritas no Capítulo II. Para tal, selecionaram-se cinco estampas com exemplos bem representativos, a fim de sedimentar o que foi até aqui discorrido.

A primeira ilustração a ser analisada corresponde à Estampa 7, cognominada de "Área Modelo", a qual foi estudada nos estádios LEITURA, RECONHECIMENTO, IDENTIFICAÇÃO e ANÁLISE no Capítulo II, faltando tão-somente o estágio final, Interpretação, no qual as informações auferidas são repesadas, visando à sua definição final. Os demais exemplos retratam estruturas falhadas, dobradas e redobramentos. Para cada estampa existe uma interpretação correspondente, na mesma escala, na qual são destacados os contatos geológicos, classes de rochas e informações de cunho estrutural. Para as convenções consultar as Legendas 5 e 6.

## 2 Descrição das Interpretações

### 2.1 Região de Pedra Azul (Minas Gerais) - (Estampa 7; Figura 91)

A região em epígrafe já foi objeto de estudos enfocando os parâmetros de feições antrópicas (Figura 28), textura/tom radargráficos (Figura 30), formas de relevo (Figura 34), padrões de drenagem (Figura 46) e feições lineares, planares e tabulares (Figura 66). Por conseguinte, a interpretação apresentada na Figura 85 constitui o fecho da metodologia introduzida no Capítulo II.

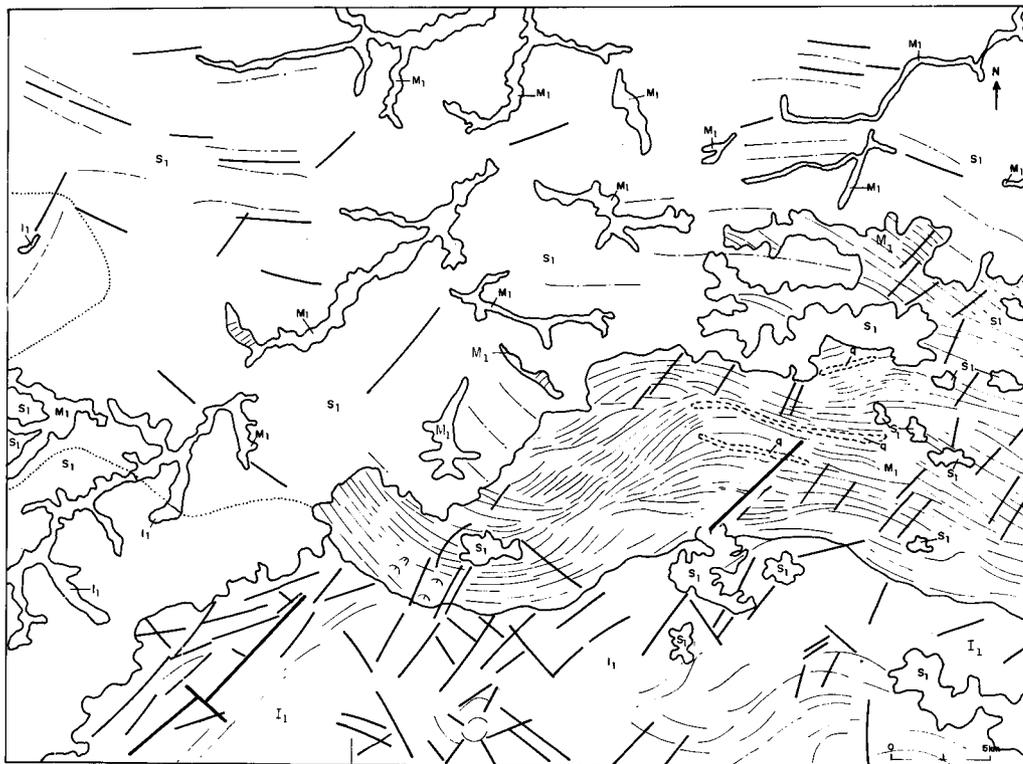
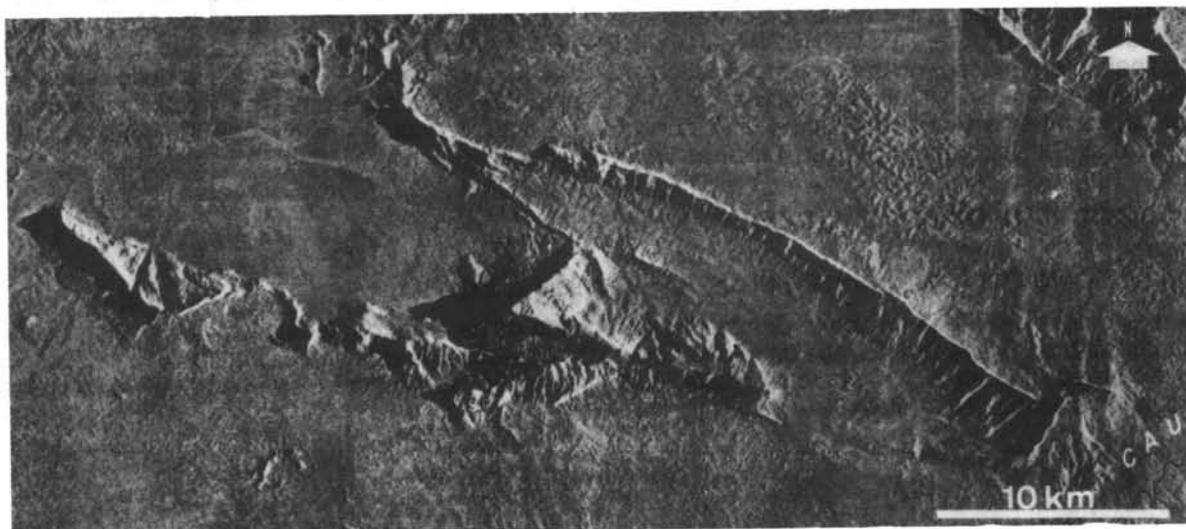


Figura 91 - Interpretação Radargeológica. Folha SD. 24-Y-C (Cf. Estampa 7).

Pode-se observar a presença de três grandes compartimentos. O primeiro ao norte relativo à seqüência sedimentar ( $S_1$ ), o segundo disposto na porção mediana da Figura 85, representada por metamorfitos ( $M_1$ ) e a última por rochas ígneas ( $I_1$ ). Consoante dados da literatura geológica os metamorfitos orientam-se cerca de E-O, com mergulhos para sul, cuja definição é ressaltada pela linha de vôo de mesma orientação, com visada para sul. Neste conjunto assomam morros orientados, amiúde de topo agudo e em algumas situações compondo cristas. As rochas dominantes são gnaisses e xistos, com quartzitos associados (q), todos de origem sedimentar. Para sul afloram rochas ígneas representadas por granitóides caracterizados por morros de topo convexo sem uma orientação preferencial, ou então fracamente orientados. O conjunto sedimentar ( $S_1$ ) constitui-se por elúvios formados *in situ*, relativo a níveis de aplanamento que afetaram a região. Este domínio retrata perfeitamente a influência do embasamento. Em vista disso, foi possível delinear a extensão das seqüências metamórficas e do complexo ígneo sob a cobertura, através de contato encoberto tendo por base a drenagem e formas das pendentes. Ademais, a unidade  $S_1$ , se estende para sul sobre as unidades  $M_1$  e  $I_1$ .

## 2.2 Região de Serra do Padre (Amazonas) (Estampa 53; Figura 92)

Para a região em lide objetiva-se, principalmente, evidenciar a presença de falhamentos direcionais em rochas sedimentares ( $S_1$ ), assim como estabelecer suas relações com o embasamento. Este está tipificado a NE por zonas serranas ( $M_2$ ) e zona arrasada com topo convexo aberto ( $M_1$ ) e maciços isolados de topo convexo interpretados como granitóides ( $\gamma$ ).



Estampa 53 - Falha de Deslocamento Horizontal. Serra do Padre (Amazonas). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha NA.21-Z-D. Vide explicações no texto.

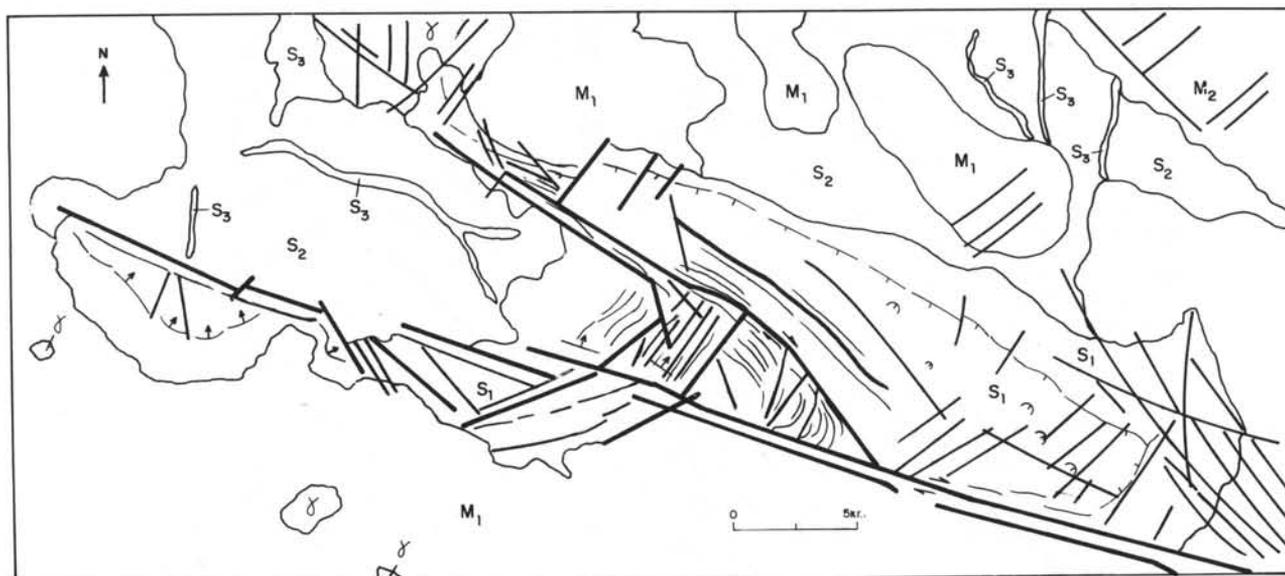


Figura 92 - Falha de Deslocamento Horizontal em Sedimentos. Folha NA. 21-Z-D (Cf. Estampa 53).

A seqüência sedimentar que se expõe na Serra do Padre (S<sub>1</sub>) caracteriza-se por topo agudo com feições planares bem desenvolvidas e intensamente cortada por falhas direcionais dextrais, destacando-se duas em sua porção central de orientação cerca de E-O. Sedimentos mais recentes são representados por S<sub>2</sub> e S<sub>3</sub> relativos a depósitos eluviais, aluviais e coluviais, respectivamente. É importante ressaltar a grande extensão das vertentes que limitam a porção oriental da Serra do Padre, podendo, inclusive, se tratar de rochas ígneas básicas.

### 2.3 Região da Serra da Providência (Rondônia) - (Estampa 54; Figura 93)

Para a região em epígrafe procura-se exemplificar as relações entre rochas sedimentares deformadas, de baixo grau metamórfico, com grande incidência de feições planares, e uma seqüência vulcanoplutônica, cujo limite é feito por falhas inversas de alto ângulo. O embasamento metamórfico (M1) é tipificado por um terreno arrasado com grande incidência de material eluvial, em vista da textura lisa evidenciada. Por sua vez, a seqüência vulcanoplutônica é tipificada por morros orientados em duas direções, porquanto do intenso fraturamento NE-SO e NO-SE, revelando formas circulares e elípticas. Quando possível, individualizaram-se alguns corpos granitóides (γ). A seqüência sedimentar (S1) é condicionada por relevo de cristas agudas, ravinadas ou escarpadas, ressaltando perfeitamente as feições lineares e planares, estas com orientação meridiana e mergulho para oeste, em alguns casos invertidas. Várias paráclases foram delineadas, sendo a mais marcante aquela disposta no limite entre as seqüências sedimentares e ígneas, interpretadas como de caráter inverso, em vista da disposição de suas feições planares. Ao longo do rio Machado, individualizaram-se sedimentos aluviais (S<sub>2</sub>).



Estampa 54 - Falha Inversa de Alto Ângulo. Serra da Providência (Rondônia). Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1971/1972. Folha SC.20-Z-A. Vide explicações no texto.

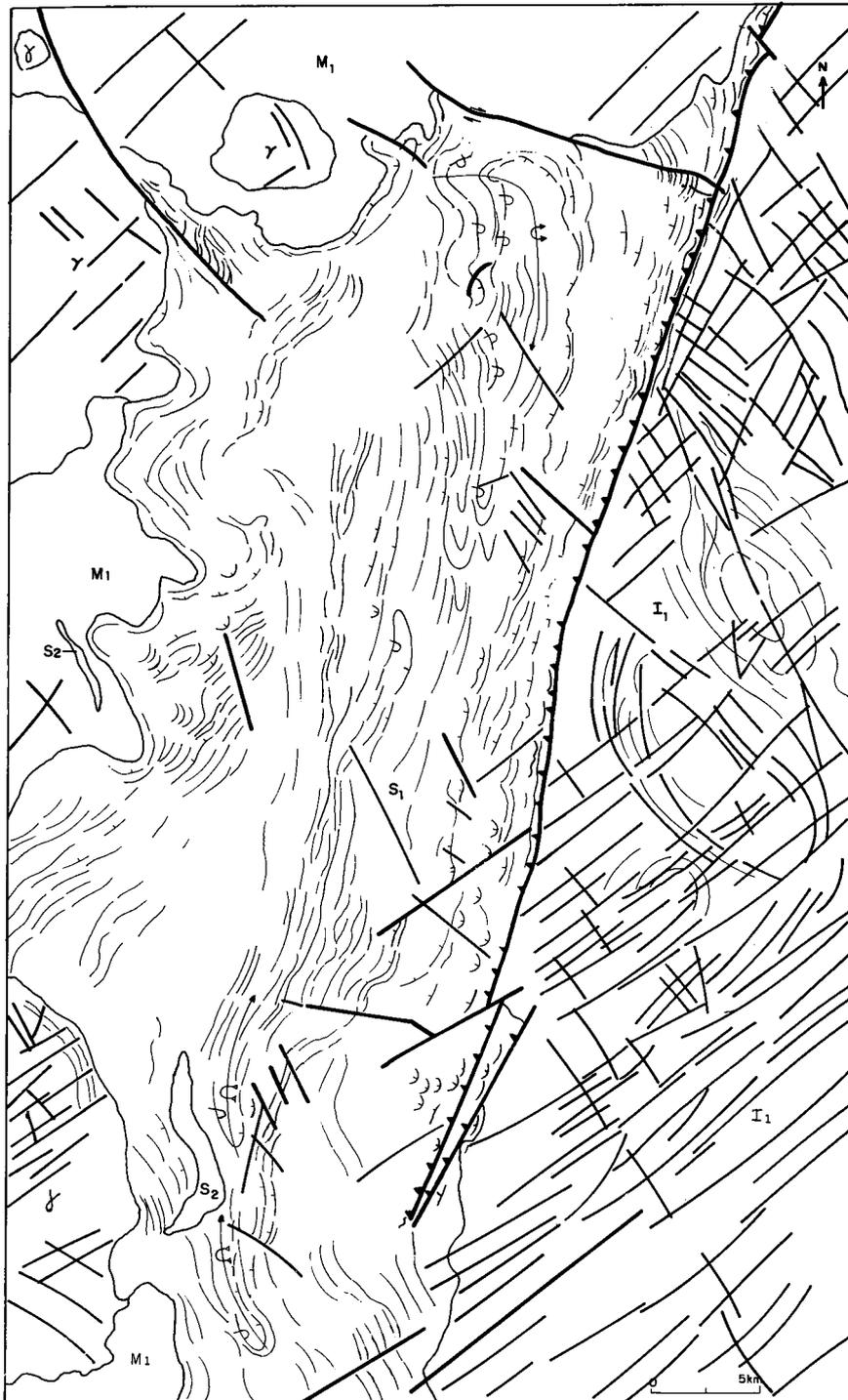


Figura 93 - Falha Inversa de Alto Ângulo. Folha SC. 20-Z-A (Cf. Estampa 54).

## 2.4 Região de Cáceres (Mato Grosso) - (Estampa 55; Figura 94).

Com este exemplo, procura-se mostrar a potencialidade das imagens RVL na caracterização de estruturas dobradas em metassedimentos (M<sub>1</sub>) de baixo grau. Observa-se primeiramente que a orientação das estruturas é aproximadamente paralela à linha de vôo, provocando destarte uma maior extensão das sombras no canal remoto. De qualquer sorte, as feições planares e eixos estão bem evidenciados, sendo possível a definição de estruturas sinformais e antiformais. Por outro lado, o limite entre as estruturas é marcado por falhamentos inversos, também com orientação meridiana. A presença de camadas invertidas e redobramentos locais em laço são também evidenciados. Além desse conjunto metassedimentar, individualizaram-se seqüências eluviais e coluviais (S1) e aluviais (S2).



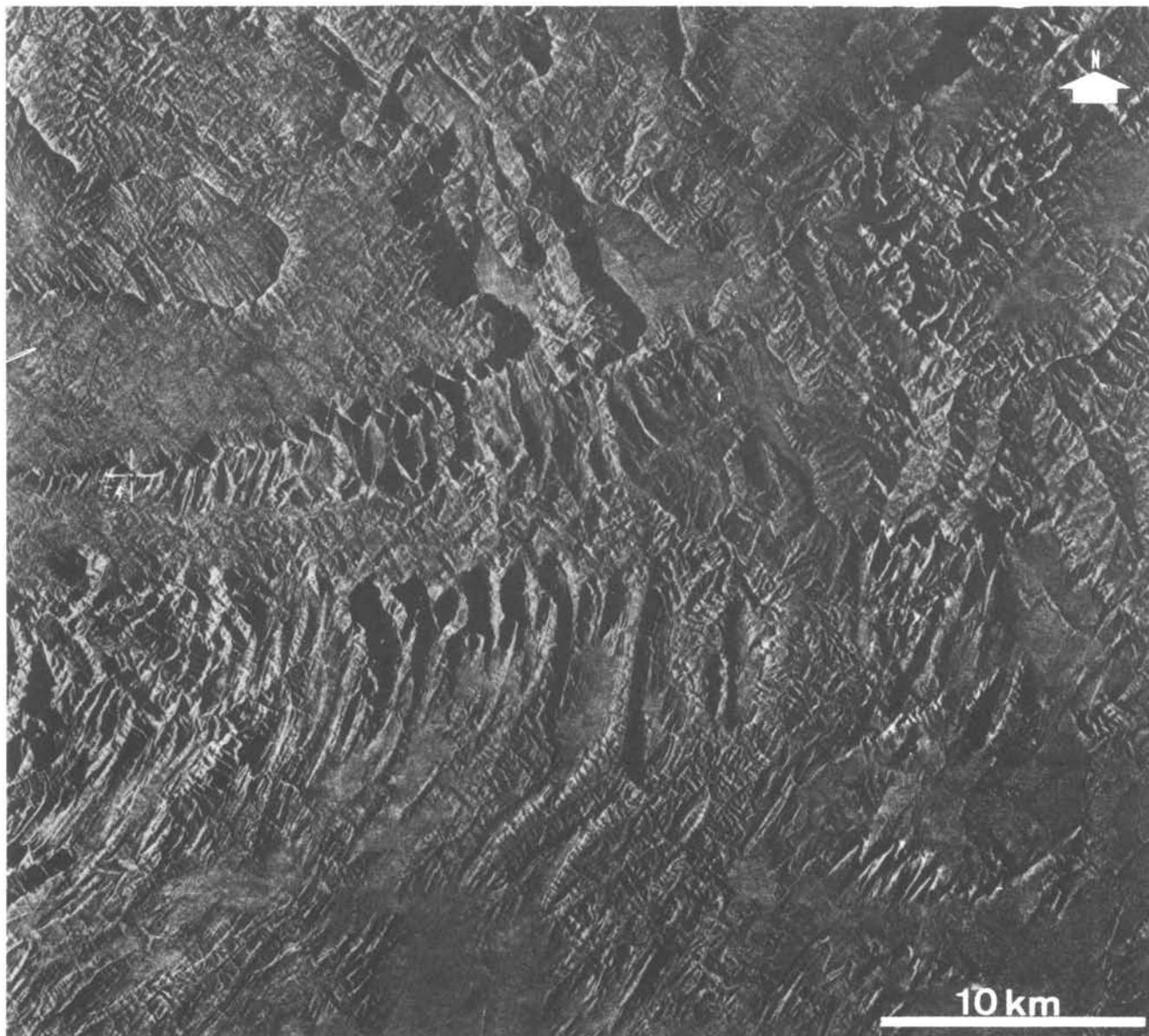
Estampa 55 - Estruturas Dobradas. Região de Cáceres (Mato Grosso).  
Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SE.21-V-B. Laço = redobramento. Vide explicações no texto.



Figura 94 - Estruturas Dobradas em Metassedimentos de Baixo Grau. Folha SE. 21-V-B (Cf. Estampa 55).

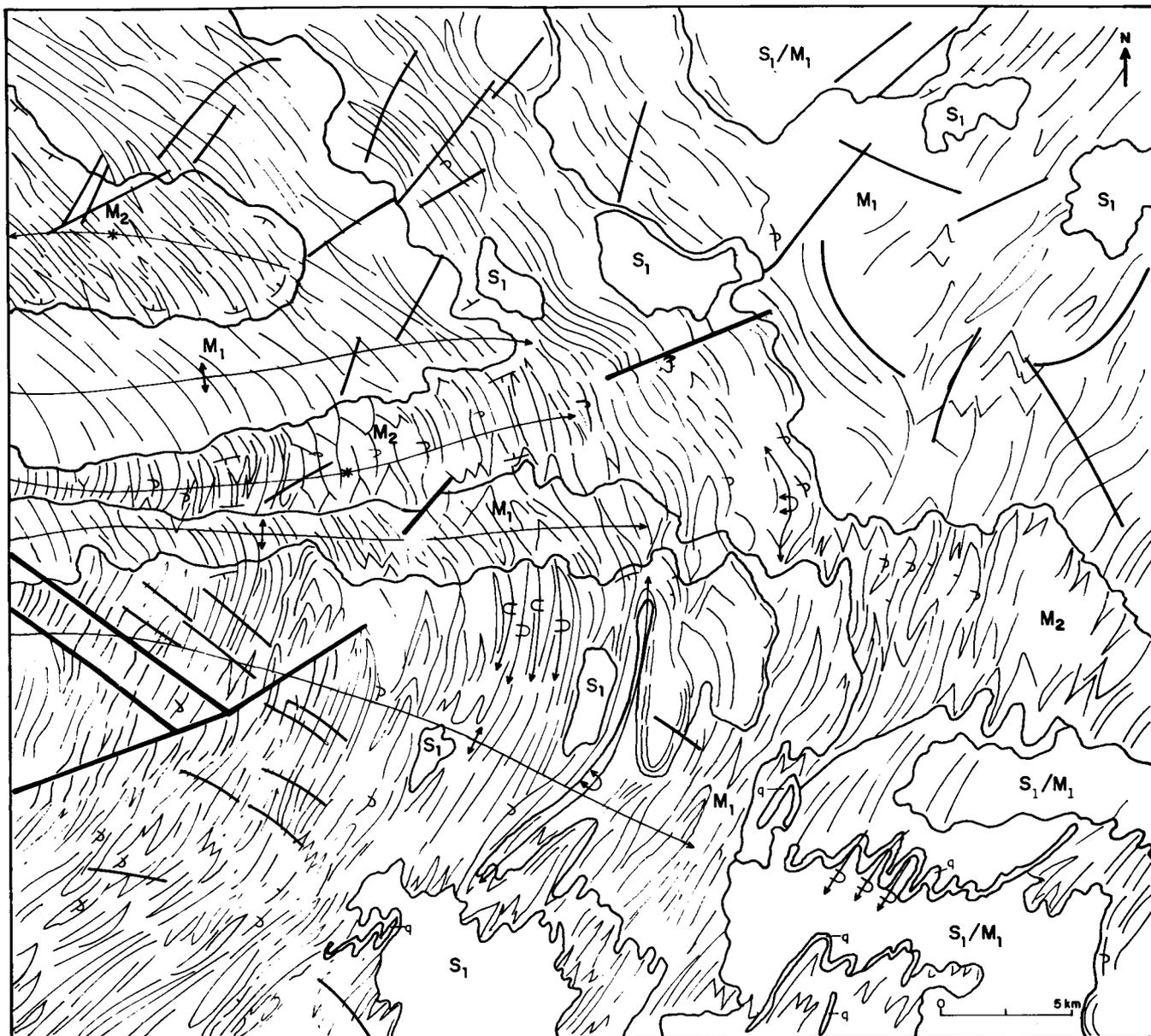
## 2.5 Região da Chapada dos Veadeiros (Goiás) - (Estampa 56 e Figura 95).

Procura-se com o presente exemplo mostrar uma área clássica do território brasileiro em termos de redobramentos. As rochas envolvidas constituem-se por metassedimentos de baixo grau, de composição preferencialmente psamítica e secundariamente pelítica. A orientação das estruturas é paralela à linha de vôo, o que, por um lado, favorece o ressalto das feições e, por outro, imprime extensas sombras. A fim de melhor interpretar as feições estruturais traçaram-se inicialmente as feições lineares e planares e tabulares, como pode ser visto na Figura 95. De posse de tais informes, delinearam-se os dobramentos, salientando a presença de uma fase mais antiga com eixos meridianos com superfície axial mergulhando para oeste, a qual foi posteriormente redobrada, por dobramentos amplos, com eixos E-O.



Estampa 56 - Redobramentos. Região da Chapada dos Veadeiros (Goiás).  
Imagem RVL-GEMS, Banda X, 1975/1976. Folha SD.23-Y-A. *Vide explicações no texto.*

Observa-se ocorrência de modelos de interferência tipo 2 (bumerangue ou cogumelo). As associações litológicas tornaram-se necessárias em virtude da presença de um capeamento (S1), o qual, em alguns pontos, não está bem definido (S1/M1), ao passo que, em outros, forma tabuleiros (S1).



Figuras 95 - Redobramentos em Metassedimentos de Baixo Grau. Folha SD. 23-Y-A (Cf. Estampa 56).

## CONCLUSÕES

Os procedimentos metodológicos concernentes à interpretação radargeológica aqui apresentados e discutidos retratam uma experiência de mais de quinze anos adquirida no decurso do desenvolvimento do então Projeto RADAMBRASIL (RADAM), extinto em março de 1986. De qualquer sorte, a faixa das microondas não dispunha de compêndio similar a respeito. O território brasileiro está totalmente coberto por imagens de Radar de Visada Lateral (RVL) da GEMS, Banda X, aliado ao fato de que o sensor Radar está sendo acoplado em espaçonaves e satélites, desde meados da década de 80. Neste caso, com diferentes comprimentos de onda e ângulos de depressão, ou seja, Radar multiespectral. Desse modo, os princípios aqui ministrados crescem em importância.

Outro parâmetro, que não deve ser deixado de lado, é a independência em relação às nuvens, tendo como consequência natural a rapidez nos levantamentos e a aquisição de imagens em qualquer época do ano.

A grande restrição que sofre a imagem de Radar de Visada Lateral diz respeito ao estudo de regiões com relevo forte, em vista da profusão de sombras, quantidades e tamanho, além da deformação de muitos rasgos do terreno, sendo relevantes o encurtamento de pendentes e *layover*. Em Território Nacional algumas dificuldades podem ocorrer em tratos específicos das serras do Mar e Mantiqueira, sem no entanto ser um fator totalmente restritivo. Aliás, no Capítulo I deste trabalho procurou-se orientar o radarintérprete para os cuidados que devem ser tomados nessas regiões.

Deve-se salientar que os princípios básicos de Radar discutidos no Capítulo I destinam-se exclusivamente ao radarintérprete que deseja compreender as informações de cunho geológico evidenciadas pelo sensor Radar. Por conseguinte, àqueles que intentarem obter informes mais detalhados, sugere-se a consulta de compêndios especializados no assunto.

Ressalte-se que os princípios metodológicos e os exemplos aqui retratados enfocam exclusivamente as imagens de Radar da GEMS, Banda X, e que serviram de base para os levantamentos de recursos naturais efetivados pela equipe técnica do então Projeto RADAMBRASIL em todo o território brasileiro. De qualquer maneira, os ensinamentos aqui colocados são válidos para outros sistemas de Radar: Banda L (SIR-A, SIR-B e SIR-C), Banda K (Westinghouse), Banda X (Star Sistem e Motorola) e Banda C (RADARSAT e ERS-1). No entanto, devem ser levados em consideração o comprimento de onda e ângulo de depressão que são parâmetros inerentes de cada sistema.

Até o presente momento as imagens de Radar têm sido utilizadas em escalas de 1:400 000, 1:250 000 e 1:200 000, podendo-se chegar com boa ampliação até 1:100 000. No entanto, tem-se notícia de RVL da GEMS na escala de 1:50 000, em território africano, porém constitui um caso isolado. Desse modo, deve-se enfatizar a utilização deste sensor em escalas de reconhecimento, em especial para regiões cobertas por floresta equatorial, à semelhança da Região Amazônica na América do Sul, e tratos correspondentes na Ásia e África. Com efeito, a utilização de RVL com outros sensores já constitui fato corriqueiro a exemplo do que ocorre com imagens LANDSAT-TM, SPOT, KOSMOS e outros. Ademais, constitui ferramenta importante quando utilizada com mapas geofísicos, com destaque para os magnetométricos e radiométricos.

Em suma, as principais conclusões são:

- a imagem RVL constitui um importante sensor no levantamento de recursos naturais, em especial nos campos da Geologia, Geomorfologia, Pedologia e na definição da Fitoecologia, uso potencial da terra e Cartografia;
- a imagem RVL é de grande importância em trabalhos de reconhecimento (escalas 1:250 000 e menores), no entanto, pode ser utilizada em trabalhos de detalhe e semidetalhe, com uso de visão estereoscópica;
- com o advento de sistemas de abertura sintética em satélites (ERS-1, SIR e RADARSAT) ter-se-á uma visão dinâmica das regiões estudadas, de grande importância para o controle do desmatamento e culturas, em vista de sua independência em relação à cobertura de nuvens;
- a possibilidade de apresentação em forma digital, estereoscopia e radar multiespectral amplia significativamente os campos de aplicação do sensor RVL;
- a possibilidade de minimizar a extensão das sombras e efeitos dos canais próximos e remoto vão facilitar a interpretação de áreas com forte relevo, geralmente coberta por nuvens;

- o RVL é um sensor essencialmente geométrico, sendo deste modo importante a escolha de sua visada em relação às feições do terreno;
- constitui um sensor de grande valia para a interpretação estrutural, necessitando-se os devidos cuidados para fortes relevos em vista de possíveis pseudo-estruturas;
- de grande importância na interpretação litológica, desde que as formas de relevo, padrões de drenagens e suas inter-relações sejam devidamente estudados;
- a caracterização de feições planares, lineares e tabulares, muito bem realçadas nas imagens RVL, devem constituir a base das interpretações estruturais;
- a linha metodológica aqui apresentada pode ser estendida para outros sistemas de Radar, nas Bandas L, C e K, sendo desse modo exclusiva para sensores da faixa microondas; e
- imagem RVL deve ser integrada com sensores da faixa do visível, infravermelho e mapas geofísicos, a fim de se obter um número maior de informações.

## BIBLIOGRAFIA

- AERO SERVICE SAR. Synthetic Aberture Radar. USA. Houston Texas, 1978. 11p.
- ALLUM, J.A.E. Photogeology and regional mapping. Oxford, Pergamon Press, 1966. 107p.
- ARAÚJO, J.F.V. et al. Geologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. *Folha SA.21, Santarém*. Rio de Janeiro, 1976. (Levantamento de Recursos Naturais, 10).
- ARAÚJO, O.J.B. de et al. *Projeto Domo do Erepecu*. Belém, CPRM, 1983. v.1, 80p.
- BARBOSA, G.V. et al. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do Projeto RADAMBRASIL. *Boletim Técnico do Projeto RADAMBRASIL. Sér. Geomorfologia*, Salvador, (1):3-26,1984.
- BEATTY, J.K. Crater Hunting in Brazil. *Sky and Telescope*. s.l., ed. 1980, p.464-7.
- BROWDEN, L.W.; PRUIT, E.L. *Manual of remote sensing ; interpretation and applications*, Falls Church, Virginia, American Society of Photogrammetry, 1975. 2v.
- COUTO, H.T.Z. do et al. Levantamento da cobertura florestal através de técnicas de sensoriamento remoto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., São José dos Campos, 1978, v.1, p.223-34.
- CREPANI, E. Análises de fraturas de imagens fotográficas de baixa resolução espacial: uma contribuição ao estudo da evolução tectônica da chapada do Araripe. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 5., Natal, 1988, v.2, p.366-80.
- CUNHA, F.M.B. Aspectos morfoestruturais do Baixo Amazonas. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA, 1., Belém, 1982. *Anais...* Belém, SBG, 1982. p.75-83.
- \_\_\_\_\_. Utilização de mosaicos radargramétricos na integração dos terrenos pré-cambrianos com as bacias costeiras do Espírito Santo e sul da Bahia. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Gramado, 1986. *Resumo...* p.127.
- \_\_\_\_\_. Controle tectônico-estrutural na hidrografia da região do Alto Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG, 1988. v.5, p.2267-77.
- CUNHA, F.M.B. da; CARNEIRO, R.G. Interpretação fotogeológica do Centro-Oeste da Bacia do Maranhão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA; 30, Belém, 1972. *Anais...* Belém, DNPM/SBG, 1972. v.3, p.65-80.
- CUNHA, R.P.; FORD, J.P. Radar penetration in the Amazonian Rain Forest. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Gramado-RS, 1986. Gramado, INPE/SELPER/SBC, 1986. v.6, p.373-4.
- DRURY, S.A. *Image interpretation in geology*. London , Allen & Unwin, 1987. 237p.
- ESA. ERS-1 a new tool for global environmental monitoring in the 1990's. Paris, 1989. 39p.
- GERASIMOV, I.P.; MESCHERIKOV, J.A. Morphostructure. In: *The Encyclopedic of Earth Sciences Series*. Edited by Rodhes W. Fairbridge. Reinhold Book Cooperation, 1968. vol. III, p.731-2.
- GUY, M. - Quelques principes e quelques experiences sur la méthodologie de la photo-interpretation, In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHOTO-INTERPRETATION, 2., Paris, 1966. *Actes...* Paris, Société Internationale de Photogrammétrie, 1966. v.16, p.21.41.
- HOBBS, B.E. et al. - An outline of structural geology. New York, J.Wiley, 1976. 571p.
- HOBBS, W.H. - Lineaments of the Atlantic Border Region. *Geological Society of America Bulletin*, New York, (15):482-506, 1904.
- HOWARD, A.D. - Drainage analysis in geologic interpretation: summation. *Bulletin American Association of Petroleum Geologists*, Tulsa, 51(11):2246-59, 1967.
- JENSEN, H. et al. Side-looking airborne radar. *Scientific American*, San Francisco. 237(4):84-95. Oct. 1977.
- LANGER, B. *Determinação de desníveis, pela sombra projetada em radar de visada lateral*, s.l. Projeto RADAM, 1971. 4p. (Relatório interno RADAM, 4-T).
- LANGHAM, E.J. et al. RADARSAT CANADA'S microwave satellite. *International Journal of Remote Sensing*, 11(3):527-41, 1990.
- LIMA, M.I.C. de. Padrões de interpretação geológica, em Imagens de Radar do Craton Guianês. In: CONFERÊNCIA GEOLÓGICA INTERGUIANAS; 10., Belém, 1975 *Anais...* Belém, DNPM 1975. p.715-46.

- \_\_\_\_\_. A importância das estruturas planares e lineares na interpretação radargeológica. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., São José dos Campos, 1978. *Anais...* São José dos Campos, CNPq/INPE, v.2, p.500-9.
- \_\_\_\_\_. Potencialidades das imagens de radar em mapeamentos geológicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., Recife, 1978. *Anais...* Recife, Sociedade Brasileira de Geologia, 1978. v.1, p.164-78.
- \_\_\_\_\_. Modelos radargráficos de estruturas circulares da região amazônica. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2., Gravatal-SC, 1979. *Anais...* Gravatal-SC, DNPM, 1979. 698p. p.319-29.
- \_\_\_\_\_. Identificação de redobramentos em imagens de radar (SLAR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS À GEOLOGIA; Salvador, 1984. *Anais...* Salvador, Sociedade Brasileira de Geologia, Núcleo da Bahia, 1989.534p. p.215-30.
- \_\_\_\_\_. Lineamentos estruturais na seqüência Cenozóica Solimões e suas relações com o Craton Amazônico e Bacia do Alto Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG, 1988. v.6, p.2396-406.
- \_\_\_\_\_. Metodologia da interpretação radargeológica. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE PERCEPCION REMOTE, 4., Argentina - S.C. Bariloche, INTIYUNLU, 1989. p.629-39.
- LIMA, M.I.C. de et al. Identificação de morfoestruturas anômalas na porção centro-oriental da bacia do Maranhão (Brasil), através de imagens SLAR e LANDSAT-TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 6., Manaus, 1990. v.3, p.663-70.
- LIU, C.C.; RODRIGUES, J.E. Radargeologia. São José dos Campos, INPE, 1986. 45p. (INPE - 3803 - NTE - 251).
- LOCZY, L. de; LADEIRA, E.A. *Geologia estrutural e introdução à geotectônica*. São Paulo, E. Blücher; Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, 1976. 528p.
- LUEDER, D.R. *Aerial photografic interpretation*. New York, McGraw- Hill, 1959.
- MATTAUER, M. *Las deformaciones de los materiales de la corteza terrestre*. Barcelona, 1976, 524p.
- MEKEL, J.F.M. The geological interpretation of radar images. *ITC Text-book of photo-interpretation*, Netherlands, 8:1-61, 1972, 462p.
- MILLER, V.C. *Photogeology*. New York, McGraw-Hill, 1961, 248p.
- MIRANDA, F. P. Sensoriamento Remoto na prospecção de hidrocarbonetos na Bacia do Amazonas. *Boletim Técnico da PETROBRÁS*, Rio de Janeiro, 26(4): 208-91, 1983.
- \_\_\_\_\_. Significado geológico das anomalias morfoestruturais da Bacia do Alto Amazonas. In: SYMPOSIUM AMAZÔNICO, 2., Manaus, DNPM, 1984. p.103-5.
- O'LEARY, D.W. et al. Lineament, linear, lineation: some proposed new standards for old terms. *Geological Society of America Bulletin*, New York, 87(10):1463-9, 1976.
- NASCIMENTO, D.A. do; PRATES, M. Geomorfologia. In: PROJETO RADAMBRASIL. *Folha NA. 19, Pico da Neblina*. Rio de Janeiro, 1976. 374p. (Levantamento de Recursos Naturais, 11) p.141-82.
- PEDREIRA, A.J. Determinação de estruturas de imagens de Radar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA; 28., Porto Alegre, 1974. *Anais...* Porto Alegre, SBG, 1974. v. 6,p.279-85.
- \_\_\_\_\_. Spaceborne SAR imagery interpretation, Bahia area Brazil. *ITC Journal* (3):241-5, 1983.
- RAGAN, D.M. *Geologia estructural; introdución a las técnicas geométricas*. Barcelona, Omega, 1980. 205p.
- RAMSAY, J.G. Interference patterns produced by the superposition of folds similar type. *Journal of Geology*. Chicago, (70):466-81, 1962.
- \_\_\_\_\_. *Folding and fracturing of rocks*. New York, McGraw- Hill, 1967. 568p.
- RAY, R.G. *Fotografias aéreas na interpretação e mapeamento geológico*. São Paulo, Instituto Geográfico e Geológico, 1963. 2v.
- RICCI, M.; PETRI, S. *Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica*. Nacional, São Paulo, 1965. 226p.
- RIVEREAU, J.C. Fotointerpretação. *Revista da Escola de Minas, Ouro Preto*, 28(4):157-75, 1970.
- ROUTIN, D.D. *Sensores remotos y principios de percepcion remota*. Bogotá - Colombia, CIAF., 1975, 157p.
- SALMERON, R.A. *Introdução à eletricidade e ao magnetismo*. São Paulo, Biblioteca Nacional, 1964. 437p.
- SOARES, P.C; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. *Notícia Geomorfológica*, Campinas, 16(32):71-104, dez. 1976.
- SOARES, P.C. et al. Análise morfoestrutural integrada com imagens de RADAR E LANDSAT da bacia do Paraná. São Paulo, PAULIPETRO, 1981. Consórcio IPT-CESP.
- STRAHLER, A.N. Hipsometric (área - altitude) analysis of erosional topography. *Geological Society of America Bulletin*, New York (63):1117-42, 1952.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. dos. *Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geologia*. São José dos Campos, INPE, 1981. 76p.
- VERGARA, M.L.L. *Manual de fotogeologia*. 2.ed. Madrid, Servicio de Publicaciones de la Junta de Energia Nuclear, 1971. 308p. Anexo: Laminas.
- WHITTEN, E.H.T. *Structural geology of folded rocks*. Chicago, McNally, 1969, 678p.