

# FOTOGEOLOGIA

conceitos, métodos e aplicações



João Batista Alves Arcanjo

## **SOBRE** O AUTOR

Graduado em Geologia pela Universidade Federal de Pernambuco em 1971, tornou-se Especialista em Sensoriamento Remoto com ênfase em Fotointerpretação pelo Centro Interamericano de Fotointerpretacion – CIAF, Bogotá, Colômbia, durante o ano de 1975.

Além dessa titulação, a especialização / formação profissional na área de sensoriamento remoto foi complementada no Brasil através de cursos de atualização, a exemplo dos cursos de Sensoriamento Remoto ministrado pelo INPE em 1977 e pela Universidade de Ouro Preto em 1992; e o curso sobre interpretação digital de imagens utilizando o ENVI em 1997, ministrado pela CPRM. Participou dos Simpósios Brasileiros de Sensoriamento Remoto nos anos de 1996 e 1998, apresentou trabalhos em Congresso Brasileiro de Geologia e publicou trabalhos em revista e boletim de circulação nacional.

Sua experiência prática foi adquirida na execução / orientação aos trabalhos de interpretação de imagens de sensores remotos vinculadas aos projetos de mapeamento geológico da CPRM,

# **FOTOGEOLOGIA**

Conceitos, métodos e aplicações

**João Batista Alves Arcanjo**

DEGEO - Departamento de Geologia

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

Salvador, Brasil

2011

## **MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA**

### **MINISTRO DE ESTADO**

Edison Lobão

### **SECRETÁRIO EXECUTIVO**

Márcio Pereira Zimmermann

### **SECRETÁRIO DE GEOLOGIA MINERAÇÃO E TRANSFORMAÇÃO MINERAL**

Cláudio Scliar

## **COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS/ SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL (CPRM/SGB)**

### **DIRETORIA EXECUTIVA**

#### **DIRETOR – PRESIDENTE**

Manoel Barretto da Rocha Neto

#### **DIRETOR DE GEOLOGIA E RECURSOS MINERAIS**

Roberto Ventura Santos

#### **DIRETOR DE HIDROGEOLOGIA E GESTÃO TERRITORIAL**

Thales de Queiroz Sampaio

#### **DIRETOR DE RELAÇÕES INSTITUCIONAIS E DESENVOLVIMENTO**

Antonio Carlos Bacelar Nunes

#### **DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO E FINANÇAS**

Eduardo Santa Helena da Silva

# FOTOGEOLOGIA

Conceitos, métodos e aplicações

**João Batista Alves Arcanjo**

DEGEO - Departamento de Geologia

CPRM - Serviço Geológico do Brasil

Salvador, Brasil

2011

Produto concebido pela

DIEDIG - Divisão de Editoração Geral da CPRM – Serviço Geológico do Brasil

Projeto gráfico, diagramação e atualização das ilustrações

Valter Alvarenga Barradas

Andréia Amado Continentino

Pedro da Silva

Leila Maria Rosa de Alcântara

Thaynara Pinheiro R. de Paiva

REVISÃO

João Batista Alves Arcanjo

---

Arcanjo, João Batista Alves.

Fotogeologia : conceitos, métodos e aplicações /

João Batista Alves Arcanjo. – Salvador : CPRM/SGB, 2011.

144 p. ; 30 cm

ISBN

1. Geologia. I. Título.

CDD 551

---

Foto da Capa

Foto aérea 1657, Escala 1:40.000

Folha Central - SE.23-Z-D-III

Q:1784 (CPRM)

CODEVASF/ Ano:1961

Foto da 4ª Capa

Mosaico 1784 (CPRM), Escala 1:150.000

Folha Central - SE.23-Z-D-III

CODEVASF / Ano:1961

## APRESENTAÇÃO

Em 1972 a NASA lançou o satélite ERTS-1, dando início a um programa espacial focado no sensoriamento remoto dos recursos naturais terrestres, posteriormente denominado LANDSAT. Desde então, a tecnologia de sensoriamento remoto evoluiu muito, gerando imagens cada vez melhores e de maior resolução, as quais fornecem informações detalhadas da superfície da Terra. Como consequência, o uso dessa ferramenta tornou-se indispensável nos levantamentos e no monitoramento dos recursos naturais, com destaque para a cartografia geológica, especialmente num país de dimensões continentais como o Brasil.

A crescente complexidade dos problemas geológicos a serem estudados e o avanço tecnológico na obtenção de novos sensores, também tem proporcionado a implantação de novos métodos, capazes de fornecer informações decisivas na solução desses problemas.

Por outro lado, o uso das fotografias aéreas tradicionais (sensores remotos de baixa altitude) nos levantamentos geológicos, tanto na sua etapa inicial como na atualização gradativa dos mapas no campo, continua sendo uma ferramenta igualmente indispensável na cartografia geológica e de vital importância para a qualidade do produto final (o mapa geológico).

A partir destas constatações, o autor discute os principais conceitos utilizados em sensoriamento remoto e as técnicas de interpretação fotogeológica, além de estabelecer um roteiro sistemático, com critérios definidos nas etapas da fotointerpretação, usando principalmente fotos aéreas convencionais. O livro reúne ainda uma coletânea de fotos (Apêndice 1) com exemplos de feições geológicas por ele observadas e foto-interpretadas, em vários projetos executados pela CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

Dentre as várias contribuições desse trabalho, encontra-se a apresentação, de forma bastante didática, da técnica de georreferenciamento de fotografias aéreas (Apêndice 2), com o objetivo de incentivar a utilização de fotos aéreas não apenas do modo analógico convencional, mas sobretudo em meio digital.

Manoel Barretto da Rocha Neto

Diretor-Presidente

CPRM – Serviço Geológico do Brasil

## **AGRADECIMENTOS**

O autor agradece à CPRM – Serviço Geológico do Brasil, representado pela sua atual diretoria executiva, a oportunidade de escrever esse trabalho, concomitante ao desenvolvimento dos projetos de mapeamento geológico, bem como na publicação desse livro e sua divulgação no meio da comunidade geológica.

Ao Geólogo Manoel Barretto da Rocha Neto, Diretor-Presidente da CPRM/SGB, pelo seu empenho e apoio imediato à publicação dessa obra.

Agradecimento especial ao Geólogo Inácio de Medeiros Delgado (Chefe do Departamento de Geologia) a missão que me foi confiada na elaboração do Manual de Interpretação de Imagens de Sensores Remotos, primeira versão desse trabalho e, idealizador dessa publicação.

Aos geólogos da Superintendência Regional de Salvador e todos os demais colegas, meu reconhecimento pela contribuição com idéias, discussões e apoio técnico, tanto nas tarefas de escritório como nos trabalhos de campo.

Pela digitação e formatação do referido texto, meus agradecimentos a Mabel Pedreira Borges e Vanessa Maria dos Santos Fuezi e pela configuração das ilustrações a Isabel Cristina de Jesus Pitanga e Joel dos Santos Nazário.



# SUMÁRIO

---

## APRESENTAÇÃO

## AGRADECIMENTOS

<b>1. CONCEITOS BÁSICOS DE SENSORIAMENTO REMOTO .....</b>	<b>13</b>
Definição .....	13
Radiação Utilizada em Sensoriamento Remoto.....	13
Principais Janelas Atmosféricas .....	14
<b>2. SENSORES REMOTOS APLICADOS À GEOLOGIA .....</b>	<b>16</b>
Sistemas Sensores.....	16
Fotografias Aéreas .....	17
Imagens de Satélite .....	18
Imagens de Radar .....	25
<b>3. INTERPRETAÇÃO FOTOGEOLOGICA .....</b>	<b>29</b>
Comentários Gerais .....	29
Método Convencional.....	29
Método Lógico-Sistemático .....	30
Etapas da Fotointerpretação .....	32
Interpretação de Imagens de Radar .....	33
<b>4. ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA.....</b>	<b>37</b>
Comentários Gerais .....	37
Grandes Feições Morfoestruturais .....	38
Bacias Sedimentares .....	38
Cadeias Dobradas .....	40
Blocos Falhados .....	41
Maciços Homogêneos .....	44
Maciços Vulcânicos .....	44
Montanhas Complexas .....	44
Relevos Arrasados (Planícies) .....	44
Elementos Morfoclimáticos .....	46
Morfologia de Intrusões Circulares e Pequenas Intrusões.....	47

<b>5. ANÁLISE ESTRUTURAL.....</b>	<b>49</b>
Atitude de Camadas .....	49
Discordâncias .....	51
Ordem e Grau das Estruturas .....	53
Contatos Geológicos .....	53
Estruturas Circulares/Ovaladas.....	54
Dobramento Superposto .....	57
Faturas .....	57
Falhas .....	58
Zonas e Cinturões de Cisalhamento .....	65
<b>6. ANÁLISE DA DRENAGEM .....</b>	<b>70</b>
Comentários Gerais .....	70
Assimetria.....	73
Grau de Integração .....	74
Padrões Erosionais Desenvolvidos Livremente .....	75
Padrões Erosionais Estruturalmente Controlados .....	76
Padrões Depositionais Básicos .....	77
Propriedades da Rede de Drenagem.....	80
Exemplos de Interpretação Geológica Através das Formas de Drenagem .....	82
<b>7. TONALIDADE – TEXTURA – VEGETAÇÃO .....</b>	<b>84</b>
Tonalidade.....	84
Textura .....	84
Vegetação .....	85
<b>8. IDENTIFICAÇÃO LITOLÓGICA .....</b>	<b>87</b>
Áreas Sedimentares .....	87
Rochas Ígneas Plutônicas .....	88
Rochas Vulcânicas .....	90
Rochas Metamórficas .....	90
Alguns Padrões de Identificação Litológica .....	91
Características Fotogeológicas de Algumas Rochas .....	91
<b>9. FORMAÇÕES SUPERFICIAIS.....</b>	<b>93</b>
Coberturas Residuais .....	93
Coberturas Transportadas .....	94
Depósitos Fluviais .....	94
Coluviões/Talus .....	95
Depósitos Litorâneos .....	95

10. FOTOINTERPRETAÇÃO APLICADA À GEOLOGIA ECONÔMICA.....	97
Características Fotogeológicas de Alguns Tipos de Jazimentos.....	97
Aplicação à Pesquisa Mineral .....	99
11. PROCEDIMENTOS FOTOGEOLÓGICOS .....	101
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA.....	103
APÊNDICE 1 (Coletânea de Fotos Interpretadas).....	109
APÊNDICE 2 (Georreferenciamento de Fotografias Aéreas).....	135



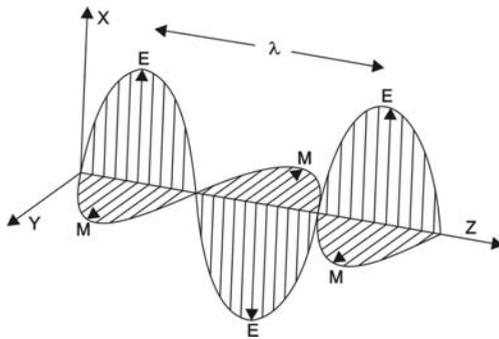
## CONCEITOS BÁSICOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

### Definição

Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite a aquisição de informações sobre objetos sem contato físico com eles. Essa tecnologia envolve um conjunto de modernos sensores, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc.

### Radiação Utilizada em Sensoriamento Remoto

A energia utilizada em sensoriamento remoto é a radiação eletromagnética, a qual se propaga através de um campo elétrico e outro magnético, figura 1.1.



**Figura. 1.1** - Flutuações dos campos elétrico (E) e magnético (M) de uma onda eletromagnética que se propaga na direção (Z) com comprimento de onda ( $\lambda$ ). Colwell (1963)

O sol é a principal fonte de energia eletromagnética disponível para o sensoriamento remoto da superfície terrestre, o qual emite radiação eletromagnética na faixa espectral compreendida entre  $0,3\mu\text{m}$  (micrômetro) a  $15\mu\text{m}$ , figura 1.2.

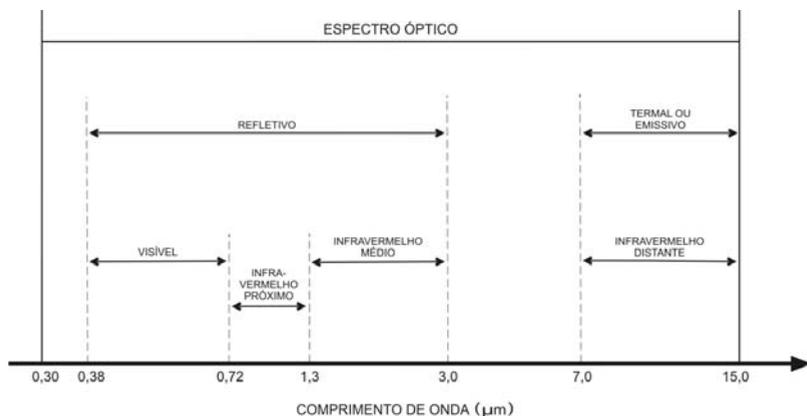


Figura 1.2 - Regiões do espectro óptico

O pico de máxima emissão de radiação solar está entre  $0,38\mu\text{m}$  e  $0,7\mu\text{m}$ , que compreende a faixa do visível do espectro óptico.

Em sensoriamento remoto o que se registra basicamente é o fluxo radiante que deixa a superfície terrestre em direção ao sistema sensor, portanto, o que é medido é a radiância do alvo. Consequentemente, o alvo que emite intensa radiação impressiona o sistema sensor que registra alta reflectância.

### Principais Janelas Atmosféricas

Janelas atmosféricas são regiões onde a absorção da radiação pelos constituintes da atmosfera é pequena e se caracterizam por uma boa transmitância da radiação eletromagnética. Nessas regiões se concentram praticamente as atividades de Sensoriamento Remoto, tabela 1.1.

Quando a radiação eletromagnética atravessa um meio sofre dois tipos de alteração: a) espalhamento e b) absorção.

A radiação eletromagnética é absorvida seletivamente pelos vários constituintes da atmosfera:  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}_2$ . Dentro do visível do espectro óptico o ozônio é o principal atenuador.

**Tabela 1.1** - Principais janelas atmosféricas

<b>Ultravioleta e visível</b>	0,3 - 0,75 $\mu$ m 0,77 - 0,91	
<b>Infravermelho próximo</b>	1,0 - 1,12 1,19 - 1,34 1,55 - 1,75 2,05 - 2,40	
<b>Infravermelho médio</b>	3,50 - 4,16 4,50 - 5,00	
<b>Infravermelho termal</b>	8,00 - 9,20 10,20 - 12,40 17,00 - 22,00	
<b>Microonda</b>	2,06 - 2,22mm 3,00 - 3,75 7,50 - 11,50 20,00 >	

## SENSORES REMOTOS APLICADOS À GEOLOGIA

### Sistemas Sensores

Um sistema sensor aplicado à geologia, é definido como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia, em um sinal passível de ser convertido em informação sobre a superfície terrestre.

Os sistemas sensores podem ser classificados:

em relação à fonte de energia	➔	passivos e ativos
em função do tipo e transformação sofrida pela radiação	➔	sistemas imageadores e não imageadores (radiômetros)
em função da região do espectro em que operam	➔	sensores termais, energia solar refletida, microondas
quanto ao processo de formação de imagem	➔	fotográficos, sensores de varredura eletro-óptica, radares

Os sensores passivos não possuem radiação própria. Detectam a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos corpos da superfície terrestre. Exemplo: fotografias aéreas e imagens de satélite.

Os sensores ativos são os que produzem sua própria radiação. Exemplo: radar.

Os sistemas sensores imageadores, os quais produzem imagem da superfície da terra, são caracterizados por sua resolução, que é uma medida da habilidade que um sistema sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximos espacialmente.

A resolução pode ser espacial, espectral, radiométrica e temporal.

A resolução espacial é a menor área que o sensor pode discriminar. O LANDSAT (TM) por exemplo, possui resolução espacial de 30m.

A resolução espectral é uma medida da largura das faixas espectrais. O TM por exemplo detecta 7 (sete) faixas espectrais.

A resolução radiométrica é a quantidade de níveis de cinza que o sensor pode discriminar. O TM por exemplo classifica 256 níveis de cinza.

A resolução temporal é a frequência com que o sensor pode imagear uma área num dado período de tempo. O TM por exemplo possui resolução temporal de 16 dias.

Os principais produtos de sensores remotos utilizados na cartografia geológica são: fotografias aéreas, imagens de satélite e de radar.

### ***Fotografias Aéreas***

O sistema fotográfico, que foi o primeiro imageador da superfície terrestre, utilizado na primeira guerra mundial, em 1914, utiliza como equipamento a câmera fotográfica.

O filme exerce o papel de detector neste sistema, possuindo sensibilidade espectral nas regiões do visível e infravermelho próximo (0,36 a 0,90 $\mu$ m).

Os filmes são caracterizados através de sua sensibilidade e resolução.

A resolução de um sistema fotográfico está associada as resoluções das lentes e do filme, como também as perdas de informação.

Os filmes podem ser classificados em pancromáticos (preto e branco), infravermelhos preto e branco, filmes coloridos e filmes infravermelhos coloridos (falsa-cor).

Por tratar-se de uma projeção central, a fotografia aérea apresenta distorção radial, crescente a partir do centro da foto.

A vantagem da visão estereoscópica, associada a alta resolução, credita à fotografia aérea o melhor sensor utilizado na cartografia geológica.

Fatores que afetam a qualidade das fotografias:

- iluminação da cena.
- reflectância dos alvos.
- espalhamento.
- o ângulo de elevação do sol.

Vantagens das fotografias aéreas:

- A forma e a cor dos objetos registrados são familiares, permitindo uma interpretação mais fácil.

- Detecta radiações na faixa do infravermelho próximo (não detectável para a visão humana) conservando as formas geométricas.
- Baixo custo para pequenos levantamentos.
- Alta resolução espacial.
- Equipamento de fácil instalação e alta flexibilidade, podendo ser instalado em qualquer tipo de aeronave e helicóptero.
- Opera em qualquer altitude e com vários tipos de filmes e lentes.
- Possui visão estereoscópica. A clareza que oferece a fotografia aérea, com o exagero do relevo que se obtém na visão estereoscópica, permite um claro enfoque dos problemas e uma grande precisão no traçado dos elementos.

Desvantagens das fotografias aéreas:

- Depende da iluminação solar.
- Depende das condições climáticas.
- Recobrimento lento para grandes áreas e limitação da autonomia da aeronave.
- Distorção radial.
- Resolução espectral entre 0,35 e 0,90 $\mu$ m.

### ***Imagens de Satélite***

#### **• LANDSAT**

As imagens colhidas pelo satélite LANDSAT faz parte do programa estabelecido pela NASA, visando não só, o desenvolvimento das tecnologias espaciais, mas sobretudo informação multiespectral periódica da superfície terrestre. O primeiro satélite da série começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999 com o lançamento do LANDSAT 7, que ficou inativo em 2003, tabela 2.1. Atualmente o único satélite em operação é o LANDSAT 5, que leva a bordo o sensor TM. O imageamento é realizado através de um simples espelho oscilante, que varre perpendicularmente à direção de deslocamento do satélite. Quando a energia refletida ou emitida pela superfície atinge os detectores, estes produzem um sinal elétrico (análogo), que posteriormente é enviado para um sistema multiplex (sistema de transmissão simultânea de sinais), que é responsável pela emissão dos dados digitais para as estações terrestres.

Tabela 2.1 - Características dos satélites LANDSAT 5 e 7

CARACTERÍSTICAS	LANDSAT 5	LANDSAT 7
Lançamento	1984	1999
Situação Atual	Em atividade	Inativo (2003)
Altitude	705km	705km
Inclinação	98,20°	98,3°
Tempo de Duração da Órbita	98,20 min.	98,9 min.
Horário de Passagem	9:45 hs.	10:00 hs.
Período de Revisita	16 dias	16 dias
Instrumentos Sensores	MSS e TM	ETM <sub>+</sub>

Os primeiros satélites da série LANDSAT operavam com quatro bandas do espectro óptico, e, resolução espacial de 80m.

O LANDSAT 5 (TM), lançado em 1984, foi projetado para detectar sete bandas do espectro óptico, com poder de resolução espacial de 30m, menos a banda 6 ( Infravermelho Termal ) com 120m, tabela 2.2.

O LANDSAT 7 (TM), que foi capaz de ampliar as possibilidades de uso desses produtos, manteve as mesmas resoluções espectral e espacial, e, conseguiu ampliar a resolução espacial da banda 6 (Infravermelho Termal) para 60m, além de inserir a banda pancromática que permite a geração de composições coloridas com 15m de resolução.

Entre os primeiros satélites da série LANDSAT, a imagem da banda 5, fornecia em geral as melhores informações sobre a geologia. Já no TM, em geral a banda 4 (0,76 – 0,90 $\mu$ m) é a que fornece melhor informação geológica, seguida pela banda 7 (2,08 – 2,35 $\mu$ m), a qual realça as rochas com mais reflectância.

Vantagens das imagens LANDSAT:

- Oferece visão sinótica de grandes áreas, o que favorece estudos regionais.
- Fornece informações de regiões política ou geográfica e inacessíveis.
- Registra em faixas seletivas destinadas a objetos específicos.

- Rápida cobertura de grandes áreas.
- Coberturas múltiplas e repetitivas de uma mesma área, permitindo estudo de fenômenos progressivos ou regionais.
- Permite ampliação e tratamento por técnicas de análise digital.

#### Desvantagens das imagens LANDSAT:

- Altamente dependentes das condições climáticas.
- Dependentes da iluminação solar.
- Resolução espacial ainda não satisfatória. Esse fator tende a melhorar nos futuros satélites.
- Dificuldade de interpretação em regiões acidentadas em função do forte sombreamento.

**Tabela 2.2** - Bandas espectrais e aplicações do LANDSAT (TM)

BANDAS	INTERVALO ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )	NÍVEL DE <sup>*4</sup> QUANTIZAÇÃO	APLICAÇÃO POTENCIAL	
1	VISÍVEL	0,45 a 0,52 (azul)	256	Mapeamento de águas costeiras Diferenciação solo/vegetação
2		0,52 a 0,60 (verde)	256	Deteccção de radiação verde refletida pela vegetação sadia
3		0,61 a 0,69 (vermelho)	256	Diferenciação entre espécies de plantas
4	*1	0,76 a 0,90	256	Pesquisas em biomassas. Delineação de corpos suspensos em água. Possibilidade de deteccção da presença de íons férrico.
5		1,55 a 1,75	256	Medição do conteúdo de umidade de vegetação. Possibilidade de deteccção de limonita.
6	*2	10,4 a 12,5	256	Prioriedades térmicas de solos, rochas, vegetação e água. Discriminação de rochas silicáticas
7	*3	2,08 a 2,35	256	Mapeamento hidrotermal e geológico em geral

\*1 = Infravermelho Próximo    \*2 = Infravermelho Termal

\*3 = Infravermelho Médio    \*4 = Quantidade de tons de cinza

- SPOT

O satélite SPOT, que é um programa francês, semelhante ao LANDSAT, foi lançado em 1986 com a finalidade de obter informações sobre a superfície terrestre. Atualmente a plataforma do SPOT está em órbita com três satélites (2, 4 e 5), o que possibilita a tomada de imagens do mesmo ponto da Terra em intervalos de 2 a 6 dias, tabela 2.3.

Opera em dois diferentes modos: o Multiespectral, que permite a aquisição de dados em três faixas do espectro, com resolução espacial de 20m, e o pancromático, que atua na faixa espectral entre 0,51- 0,73 $\mu$ m, com resolução espacial de 10m, tabela 2.4.

A possibilidade de visão estereoscópica, observação off-nadir (apontamento direcional), através da visada lateral efetuada pela câmera, é uma importante característica do SPOT.

A banda 3 é a mais indicada para mapeamento geológico.

**Tabela 2.3** - Características dos satélites SPOT 2 , 4 e 5

CARACTERÍSTICAS	SPOT - 2	SPOT - 4	SPOT - 5
<b>Lançamento</b>	1990	1998	2002
<b>Situação Atual</b>	Ativo	Ativo	Ativo
<b>Altitude</b>	823km	832km	832km
<b>Inclinação</b>	98°	98°	98°
<b>Tempo de Duração da Órbita</b>	101,4 min.	101,4 min.	101,4 min.
<b>Horário de Passagem</b>	10:30 hs.	10:30 hs.	10:30 hs
<b>Período de Revisita</b>	26 dias	26 dias	26 dias
<b>Instrumentos Sensores</b>	HRV	HRVIR e VEGETATION	HRG, HRS e VEGETATION

**Tabela 2.4** - Bandas espectrais e aplicações do SPOT

BANDAS	INTERVALO ESPECTRAL ( $\mu\text{m}$ )	APLICAÇÃO POTENCIAL
Pancromático	0,51 – 0,73	Aconselhável em trabalhos de topografia, utilizando a visão estereoscópica.
1	0,50 – 0,59	Boa penetração em corpos de água
2	0,60 – 0,68	Recomendável na discriminação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. A vegetação mostra-se escura, permitindo bom contraste com áreas sem vegetação.
3	0,79 – 0,89	Utilizada na interpretação de feições geológicas e estruturais. Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia.

- **CBERS**

O satélite CBERS - 1 (China-Brasil Earth Resources Satélite) foi desenvolvido através da cooperação entre Brasil e China, com o objetivo principal de utilizar as imagens desse sensor no controle do desmatamento e queimadas na Amazônia, monitoramento de recursos hídricos, áreas agrícolas, crescimento urbano, ocupação do solo e outras aplicações.

Lançado em outubro de 1999, a partir do Centro de Lançamento de Tayan na República Popular da China, o CBERS contempla o desenvolvimento de dois satélites de sensoriamento remoto, levando a bordo, câmeras imageadoras (CCD - Câmera Imageadora de Alta Resolução, IRMSS – Imageador por Varredura de Média Resolução e WFI- Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada), usadas para observação da Terra e o receptor para o Sistema Brasileiro de Coleta de Dados Ambientais, tabela 2.5.

O satélite CBERS – 2, idêntico em sua constituição técnica ao CBERS – 1, foi lançado em outubro de 2003 com os mesmos objetivos do 1.

O CBERS – 2B, que é muito semelhante aos CBERS 1 e 2, o IRMSS foi substituído pela HRC – Câmera Pancromática de Alta Resolução.

**Tabela 2.5 - Características dos Imageadores CBERS – 1, 2 e 2B**

<b>Altitude:</b>	778km.
<b>Faixa imageada:</b>	CCD – 113km, WFI – 890km, IRMSS – 120km e HRC – 27km (nadir).
<b>Campo de visada:</b>	CCD – 8,3°, WFI - 60°, IRMSS – 8,8° e HRC 2,1°.
<b>Resolução temporal:</b>	WFI – 5 dias, CCD – 26 dias, IRMSS – 26 dias e HRC - 130 dias.
<b>Horário de passagem:</b>	10:30hs
<b>Resolução espectral:</b>	WFI – 0,63 – 0,69 $\mu$ m (vermelho), 0,77 – 0,89 $\mu$ m (infravermelho) CCD – 0,51 – 0,73 $\mu$ m (pancromático) 0,45 – 0,52 $\mu$ m (azul) 0,52 – 0,59 $\mu$ m (verde) 0,63 – 0,69 $\mu$ m (vermelho) 0,77 – 0,89 $\mu$ m (infravermelho) IRMSS – 0,50 – 1,10 $\mu$ m (pancromático) 1,55 – 1,75 $\mu$ m (infravermelho médio) 2,08 – 2,35 $\mu$ m (infravermelho médio) 10,40 – 12,50 $\mu$ m (infravermelho termal) HRC – 0,50 – 0,80 $\mu$ m (pancromático)
<b>Resolução espacial:</b>	WFI – 260m CCD – 20m IRMSS – 80m HRC – 2,7m

- **ASTER**

A plataforma orbital Terra, que leva a bordo o sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), foi lançada em 18 de dezembro de 1999 como parte do programa EOS (Earth Observing System) estabelecido pela NASA, com o objetivo de adquirir dados que possam aumentar nossos conhecimentos sobre a dinâmica atmosférica global, sobretudo a interação terra, oceano e atmosfera.

Único sensor do satélite Terra capaz de obter imagens de alta resolução espacial (15 a 90m) do nosso planeta nas regiões dos espectros

visível e infravermelho próximo (VNIR), infravermelho de ondas curtas (SWIR) e infravermelho termal (TIR), o ASTER é constituído de três subsistemas de telescópio distintos: VNIR, SWIR e TIR, tabela 2.6.

Entre os sensores multiespectrais mais comuns em investigações geológicas, a melhor discriminação está nas imagens do ASTER, devido a presença de 6 bandas no SWIR.

**Tabela 2.6** - Características do ASTER

<b>Altitude:</b>	705km	
<b>Resolução temporal:</b>	16 dias	
<b>Horário de passagem:</b>	10:30hs	
<b>Faixa imageada:</b>	60km	
<b>Resolução espectral e espacial:</b>		
	<b>espectral</b>	<b>espacial</b>
VNIR	– 3 bandas 0,5 – 0,9 $\mu$ m .....	15m
SWIR	– 6 bandas 1,6 – 2,5 $\mu$ m .....	30m
TIR	– 5 bandas 8,0 – 12,0 $\mu$ m .....	90m

### Seleção de Imagens de Satélite

- Para uma eficiente identificação e interpretação das feições geológicas, é importante que as características espaciais, multiespectrais e multitemporais das imagens de satélite sejam bem conhecidas.

- A seleção das melhores imagens depende ainda do conhecimento prévio sobre o clima, vegetação, umidade do solo, relevo e geologia da área.

A seleção dessas imagens deve obedecer os seguintes critérios:

- Obtenção de imagens com ângulo de elevação solar o mais baixo possível.

- Selecionar principalmente o canal 4 do TM-LANDSAT ou 5 do MSSLANDSAT ou 3 do SPOT, ou ainda as três bandas (VNIR) do ASTER.

- Analisar os aspectos sazonais do clima, com variações das características do solo, vegetação, umidade do solo e iluminação solar.
- Obtenção de imagens com menor cobertura de nuvens.

### **Imagens 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 1mm e frequência de 0,3 a 50 GHz, tabela 2.7. O maior comprimento de onda acarreta maior capacidade de penetração no solo.

Denomina-se RVL pelo fato de cobrir uma faixa contínua ao lado da aeronave, ao invés de diretamente abaixo como acontece com as fotografias aéreas verticais. Uma série de pequenos pulsos eletromagnéticos são emitidos pela antena e os sinais da reflexão de retorno são registrados. Pulsões 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.

A qualidade da antena nos radares imageadores é tão importante quanto a qualidade de um sistema de lentes em uma câmera fotográfica. A qualidade da imagem, bem como a largura da faixa imageada, depende da sensibilidade da antena.

**Tabela 2.7 - 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
9	77,00 - 136	0,2 - 0,4

Na teoria não é possível gerar uma imagem radar com visada nadir perpendicular.

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.

- Radar GEMS (Radar de Visada Lateral - RVL)

O primeiro levantamento geológico realizado com imagens de Radar aconteceu no Panamá, em 1968, em uma área com impossibilidade de aquisição de fotografias aéreas devido à constante presença de nuvens, aliada à cobertura de densa floresta e espesso manto de intemperismo, fatores que dificultavam a interpretação fotogeológica.

As imagens do Radar da GEMS, banda X, que cobrem todo território brasileiro, serviram de base para os levantamentos de recursos naturais efetuados pelo Projeto RADAMBRASIL, no período de 1971 – 1986.

Por tratar-se de um sensor ativo, o radar possui sua própria fonte de radiação (microondas), que permite tomadas de imagens à noite, e em condições atmosféricas adversas.

O sistema do Radar GEMS (tabela 2.8) consiste de uma aeronave que carrega uma antena na parte inferior, a qual produz pulsos de energia na faixa de microondas a um determinado intervalo de tempo. Esse pulso é enviado na direção perpendicular ao deslocamento da plataforma, e, após ser refletido pela superfície, retorna à antena, que nesse instante encontra-se sincronizada para receber a energia refletida pela superfície imageada.

**Tabela 2.8** - Características do Radar GEMS

<b>Aeronave:</b>	Caravelle
<b>Velocidade:</b>	700-800km/h
<b>Altura:</b>	11.000m
<b>Tipo de Antena:</b>	Abertura Sintética
<b>Comprimento de onda:</b>	3,12cm
<b>Resolução Espacial:</b>	16m
<b>Banda:</b>	X

- **RADARSAT – Radar em Espaçoave**

O RADARSAT-1, desenvolvido pelo Canadá para monitorar mudanças ambientais e características dos recursos naturais, foi o primeiro satélite comercial de Sensoriamento Remoto. Lançado em novembro de 1995, opera com um único sensor ativo de microondas, com antena de abertura sintética SAR (Radar de Abertura Sintética) que atua na faixa da banda C. Pode ser programado para obter imagens em diferentes modos (7) de aquisição, cada um definido pelo tamanho da área e pela resolução espacial. Possui flexibilidade para atender requisições específicas, oferecendo imagens com resolução espacial com até 9m pelo modo fino, tabela 2.9.

**Tabela 2.9 - Principais características do RADARSAT – 1**

<b>Altitude:</b>	798km
<b>Tempo para cobrir uma órbita:</b>	100 minutos
<b>Duração do ciclo de cobertura:</b>	24 dias
<b>Horário de passagem pelo Equador:</b>	6 hs am
<b>Resolução pelo modo fino:</b>	9x9m
<b>Comprimento de onda (banda C):</b>	5,6cm
<b>Área imageada pelo modo fino:</b>	50x50km

#### Vantagens das Imagens de Radar:

As vantagens dessas imagens estão em realçarem os aspectos estruturais, falhas e fraturas, mas sobretudo a visão estereoscópica através dos strips contíguos.

Como opera na faixa de microondas, possui maior poder de penetração em regiões com grande densidade de vegetação.

O RADARSAT permite obter imagens com escala e resolução espacial previamente estabelecidas.

Como sensor ativo opera em condições atmosféricas adversas.

#### Desvantagens das Imagens de Radar:

- Discreta discriminação litológica.
- Em regiões acidentadas, o forte sombreamento dificulta a interpretação geológica.

Existem ainda outros sensores disponíveis para o mapeamento geológico, por serem recentes, ainda não alcançaram ampla divulgação:

- Óptico-Multiespectral

O satélite Alos, lançado no Japão em janeiro de 2006, carrega 3 sensores a bordo: AVNIR-2, PRISM e PALSAR. Opera na órbita de 692Km com revisita de 46 dias. O AVNIR-2 é um sensor óptico com 4 bandas espectrais (visível e próximo) com resolução espacial de 10m. O sensor PRISM opera na faixa da luz visível com uma banda pancromática de resolução espacial de 2,5m e o PALSAR que é um radar de abertura sintética com faixa imageada de (250 a 350Km), que é especial para imageamento de grandes áreas de florestas.

## INTERPRETAÇÃO FOTOGEOLÓGICA

### Comentários Gerais

Nos últimos anos, a interpretação geológica de imagens de sensores remotos/fotografias aéreas vem sendo aplicada nos diferentes campos científicos e técnicos. Consiste na identificação dos diversos elementos geológicos expostos nessas imagens, com o propósito de cartografar e elucidar possíveis problemas geológicos. É uma atividade rotineira fundamental em todos os trabalhos de mapeamento geológico, com uma participação definitiva na racionalização na economia e nos resultados técnicos desses trabalhos.

O estudo fotogeológico deve acompanhar todas as fases do mapeamento, sendo a fotografia aérea utilizada nos trabalhos de campo. Compreende vários temas das geociências, envolvendo aspectos geomorfológicos, estruturais, estratigráficos, litológicos e hidrogeológicos, além dos padrões de drenagem, tonalidade e vegetação. É de ampla aplicação em todos os ramos das geociências que necessitam de mapas para seu estudo em escala macroscópica.

Quase todas as feições registradas nas imagens, têm suas correspondências e definições em afloramentos. A interpretação deve ser realizada com a máxima fidelidade aos elementos geológicos expostos nas imagens, sem ser influenciada por modelos preconcebidos. A experiência do fotointerprete é um fator decisivo, tanto no estabelecimento de critérios a serem adotados na fotointerpretação, como no momento de tomar decisão em situação com alta complexidade. O quadro geológico final será fornecido pelo somatório dos elementos analisados durante o estudo fotogeológico.

Vale ressaltar que a metodologia utilizada na interpretação fotogeológica é extensiva aos outros sensores, LANDSAT, SPOT e RADAR. É importante considerar a geometria da tomada da imagem, aspectos espectrais e radiométricos para perfeita interpretação.

### Método Convencional

Este método, que foi o primeiro a ser adotado, em especial pela escola americana, se baseia principalmente nos aspectos do relevo e nos

padrões de drenagem, combinados com as características da tonalidade e da textura.

## Método Lógico-Sistemático

O método lógico-sistemático foi utilizado primeiramente na França, a partir das pesquisas desenvolvidas por Guy (1966). Está baseado essencialmente no estabelecimento de conjuntos homólogos ou zonas homólogas, que consiste no estudo das propriedades do relevo e dos elementos texturais e estruturais. Permite que a interpretação seja utilizada como um meio de descoberta autônomo, permitindo analisar a paisagem sem idéias preconcebidas.

Consiste de:

- **fotoleitura inicial** - reconhecimento das diversas feições registradas nas imagens.

- **traçado de toda drenagem.**

- **fotoanálise** - traçado de todas as lineações positivas e negativas, análise do relevo, assimetria do relevo.

As lineações positivas são estruturas retilíneas ou em curvas, que em geral representam os traços das superfícies “S”. Formam suaves ondulações no relevo orientadas segundo o trend regional.

As lineações negativas em feixe são estruturas retilíneas ou em curvas, que representam os traços das superfícies “S”, ou em alguns casos, fraturas e ou/ falhas. Constituem suaves depressões de relevo orientadas segundo o trend regional.

As lineações negativas em série formam pequenas depressões transversais ou diagonais em relação às descritas acima. Geralmente correspondem a fraturas e/ou falhas.

Análise do relevo - Em áreas compostas por relevo escarpado, é conveniente traçar as quebras de relevo positivas e negativas.

As quebras de relevo podem ser classificadas segundo o grau de estruturação em: fortemente estruturadas, moderadamente estruturadas e fracamente estruturadas.

- **zonas homólogas** são áreas formadas pela repetição dos mesmos elementos texturais e a mesma estrutura.

- **interpretação geológica final** - colocação dos eixos de dobras, contatos, falhas, fraturas e ordenamento da estratigrafia.

As principais características de uma zona homóloga são:

- **Densidade de elementos texturais e estruturais** - reflete a densidade de encostas e de elementos lineares.

Os elementos texturais são rupturas, encostas e micro-relevo, já os estruturais são as lineações positivas, as lineações negativas em feixe e as lineações negativas em série.

A densidade de elementos textural e estrutural pode ser: alta, moderada, baixa e nula.

- **Tipo de encosta** - reflete a resistência ao intemperismo. A encosta pode ser convexa, reta, côncava e horizontal, figura 3.1.



Figura 3.1 - Tipos de encostas

Quanto a intensidade, que se refere a declividade do terreno, a encosta pode ser classificada em: alta, média, baixa e nula, figura 3.2.



Figura 3.2 - Intensidade da encosta

- **Grau de tropia** é o grau de ordenamento dos elementos estruturais segundo uma tendência, o qual reflete a anisotropia da rocha. Pode ser nulo, quando a rocha não possui lineações positivas e negativas, exemplo: granito isotrópico. O grau de tropia pode ser nulo, baixo, moderado e alto, figura 3.3.

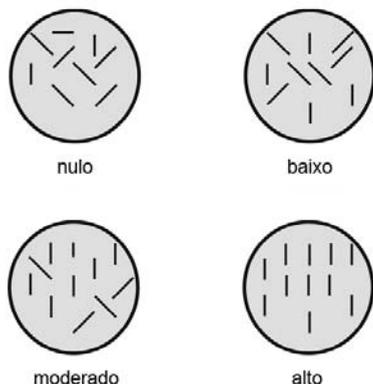


Figura 3.3 - Classificação do grau de tropia

- **Assimetria do relevo** reflete o mergulho das camadas e pode ser classificado em simétrico e assimétrico. O relevo assimétrico sugere camada com mergulho moderado, enquanto o relevo simétrico indica camada com mergulho forte a vertical.

- **Densidade de lineação em série** reflete o grau de ruptibilidade das rochas. Quanto a densidade de lineação em série, uma zona homóloga pode ser classificado em alta-A, moderada-M, baixa-B e nula-N.

- **A Tonalidade** está relacionada com a intensidade de umidade do solo, vegetação ou ampla exposição de área rochosa, a qual fornece alta reflectância. Pode ainda estar associada ao teor de quartzo. Uma zona homóloga pode ser classificado segundo a tonalidade, em alta-A, moderada-M, baixa-B e nula-N. Uma zona homóloga é classificado como de alta tonalidade quando dominam cores claras.

## Etapas da Fotointerpretação

Para extrair todos os elementos geológicos durante a fotointerpretação, é importante seguir quatro etapas: fotoleitura, fotoanálise, identificação de zonas homólogas e interpretação geológica. Seguindo essas etapas, com critérios fundamentados, o fotointerprete analisará a participação de cada elemento geológico no arcabouço geral da área, sem correr o risco de deixar de visualizar algum importante aspecto.

**Fotoleitura** - Reconhecimento das principais feições geológicas e cartográficas. Por exemplo: áreas devastadas, zonas de cultivo, estradas e caminhos, áreas urbanas, morros, etc.

### **Fotoanálise**

- Traçado de toda drenagem, observando o modelado do relevo e o padrão do traçado com relação sobretudo à estrutura e a litologia.
- Traçado de todas as lineações positivas e/ou negativas (superfícies “S”) e em série (juntas/fraturas).
- Traçado das falhas com a classificação das mesmas segundo o movimento.
- Traçado das atitudes segundo a assimetria do relevo.
- Análise do relevo, observando os tipos de encostas, grau de tropia, densidade de elementos texturais e estruturais, tonalidade e vegetação.

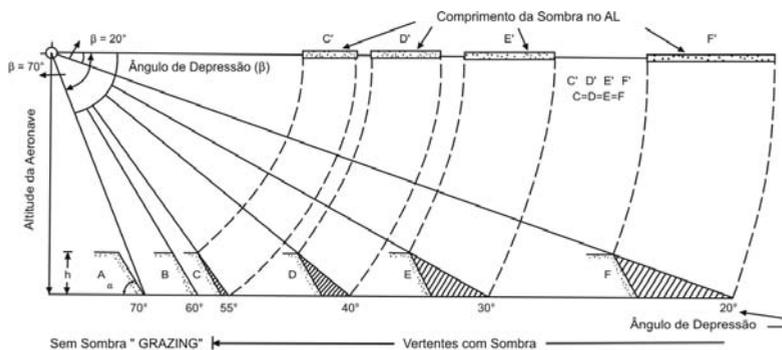
**Identificação de Zonas Homólogas** - Nessa fase, são definidas as zonas homólogas, com base nos critérios estabelecidos acima, e, traçados os contatos que limitam essas zonas que representam unidades litológicas.

**Interpretação Geológica** - Conclusão da fotointerpretação com a colocação dos eixos de dobras e interpretação estratigráfica em caso de sequência sedimentar a metassedimentar. Quanto à presença de rocha plutônica, observar a colocação em relação a encaixante, pré, sin, ou pós-tectônica. Portanto, nessa fase tenta-se ordenar os eventos geológicos observados através das imagens de satélite/fotografias aéreas.

## **Interpretação de Imagens de Radar**

Para que o fotointérprete possa extrair melhor as informações geológicas contidas na imagem de radar, se faz necessário o conhecimento sobre os princípios que regem os parâmetros geométricos desse produto. Dentre esses merecem destaque: sombra, encurtamento, fantasma, paralaxe.

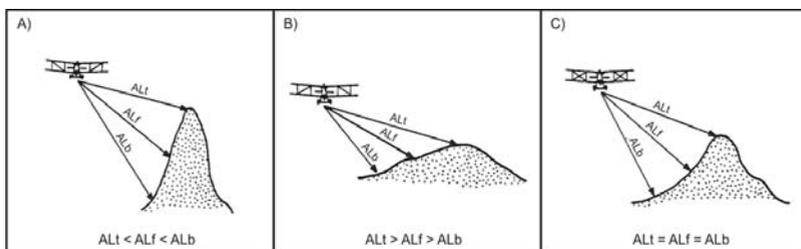
A sombra do radar é de grande relevância para que o intérprete possa ter a noção de terceira dimensão na análise visual da imagem. A sombra só será produzida em uma feição do terreno se o ângulo de depressão ( $\beta$ ) for menor que o ângulo da pendente ( $\alpha$ ), figura 3.4.



**Figura 3.4** - Relação entre o ângulo de depressão ( $\beta$ ) e o comprimento da sombra de radar. Browden & Pruit (1975).

O encurtamento ocorre nas pendentes voltadas para a antena (reflexão frontal aguda), que devido a seu posicionamento geométrico, terão um único retorno mostrado com tons brancos, figura 3.5c. Pode estar atenuado como na figura 3.5b.

O fantasma (layover) constitui um caso extremo de deslocamento de relevo, o que impossibilita a interpretação radargeológica. É função direta entre a distância da antena, e a feição imageada, uma vez que o topo da feição estando mais próximo da antena, terá seu sinal registrado antes, figura 3.5a.



**Figura 3.5** - Parâmetros de Radar  
(A) layover, (B) normal e (C) encurtamento. Drury (1987)

A paralaxe é a soma do deslocamento de relevo. Como as fotografias aéreas, que apresentam uma distorção radial, as imagens de radar provocam um deslocamento das feições positivas em direção a antena, o inverso ocorrendo com as negativas. Graças a este parâmetro é possível obter-se a estereoscopia de Radar.

### Parâmetros geométricos de Radar

A sensibilidade da antena nos radares imageadores é tão importante quanto a qualidade de um sistema de lentes em uma câmera fotográfica, pois dela depende o nível da imagem, bem como a largura da faixa imageada.

Na teoria não é possível gerar uma imagem radar com visada nadir perpendicular.

Denomina-se Radar 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. Uma série de pequenos pulsos eletromagnéticos são emitidos pela antena e os sinais da reflexão de retorno são registrados. Pulsões 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, figura 3.6.

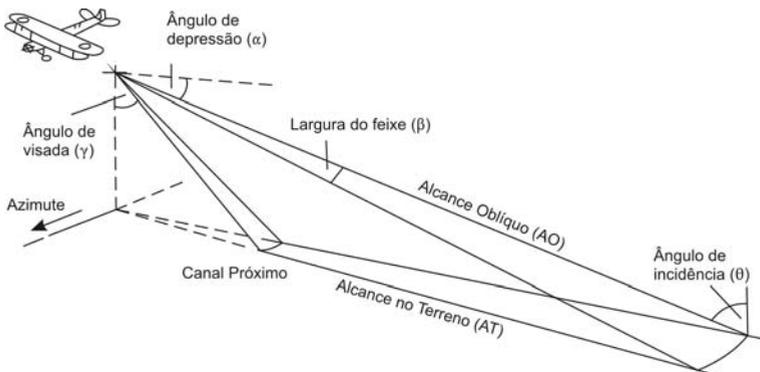


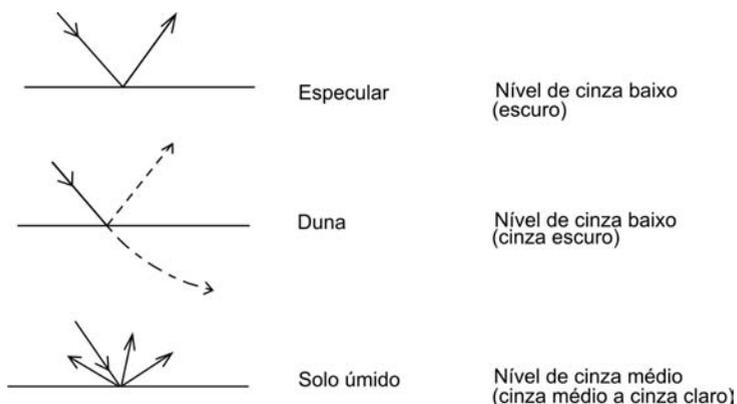
Figura 3.6 - Parâmetros do sistema RVL. Modificado de Drury (1986)

O posicionamento de um determinado alvo na imagem irá depender de sua distância em relação à antena e sua tonalidade dependerá da reflexão de retorno.

Dois importantes parâmetros do sistema RVL são: ângulo de incidência ( $\theta$ ) e ângulo de depressão ( $\alpha$ ).

### Parâmetros do alvo

**Permitividade** é o fator que fornece a relação entre a radiação que chega no alvo e a que retorna ao sensor. Alta permitividade fornece alta reflectância, ou seja, as microondas não penetram em alvos com alta permitividade. A água por exemplo inibe a penetração das microondas. O coeficiente de permitividade da água é de  $\epsilon=80$ . Na areia o coeficiente de permitividade é de  $\epsilon=3$ .



**Ângulo de Aspecto** ( $\phi$ ) é a relação entre a declividade do terreno e o ângulo de visada. Isto acarreta distorções geométricas nas imagens.

- As rampas opostas são imageadas tangencialmente ou geram sombras (estão sobreadas).

- Quanto mais acidentado o terreno, mais difícil se torna a interpretação da rede de drenagem e a determinação de estruturas geológicas.

A tonalidade está relacionada essencialmente com o tipo de retorno do sinal, seja ele do tipo especular difuso, frontal agudo, frontal obtuso.

## ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA

### Comentários Gerais

A geomorfologia é a disciplina que estuda as formas da superfície terrestre, analisando os processos que as determinaram através da litologia, estrutura, drenagem e condições climáticas.

O elemento que mais se destaca em uma imagem terrestre é o relevo, seguido pela rede de drenagem. Assim, o entendimento evolutivo das feições morfológicas é um fator preponderante na fotointerpretação, a qual fornece importantes subsídios para a cartografia geológica da área. É necessário analisar a morfologia de cada tipo de rocha, cada fratura e cada feição erosiva ou deposicional, porque essas feições produzem modelos próprios, embora não necessariamente únicos. Uma mesma rocha pode apresentar feições morfológicas distintas, a depender de sua posição na estrutura, se está no núcleo, ou no flanco da dobra. A natureza da rocha é fator determinante no modelado do relevo, através de sua composição mineralógica, coesão, tamanho dos grãos e estrutura interna da mesma.

Na análise geomorfológica, deve-se também levar em consideração as condições climáticas, pois um granito no clima semi-árido possui relevo diferente de um granito no clima úmido. É necessário conhecer bem as particularidades do desenvolvimento da paisagem, que no Brasil apresenta aspectos muito peculiares em suas regiões.

Em referência à composição mineral das rochas, os fatores de resistência ou de fraqueza, são:

#### **Fatores de resistência**

K-feldspato  
Minerais claros  
Quartzo

#### **Fatores de fraqueza**

Biotita  
Minerais escuros

Segundo Greenwood (1962), os fatores que favorecem o intemperismo mecânico e químico sobre as rochas ígneas e metamórficas em climas áridos são:

**Intemperismo Mecânico**

Baixa porosidade  
 Granulação não uniforme  
 Rochas compactas  
 Rochas plutônicas  
 Quartzitos

**Intemperismo Químico**

Alta porosidade  
 Granulação uniforme  
 Rochas não compactas  
 Rochas foliadas  
 Calcários

**Grandes Feições Morfoestruturais**

As grandes feições morfoestruturais estão classificadas em função da disposição das camadas rochosas, compondo a denominada “Geomorfologia Estrutural”.

O entendimento prévio sobre a grande feição morfoestrutural, na qual a área está inserida, permite conduzir os estudos fotogeológicos com mais facilidade. Neste caso, o fotointérprete inicia a interpretação com o conhecimento das formas do relevo e estruturas que possivelmente serão encontradas.

Em 1946, I. G. Gerasimov propôs subdividir todas as formas de relevo em três grandes categorias genéticas :

a - unidades **geotexturais**, compreendendo as maiores unidades da superfície terrestre (massas continentais, grandes zonas montanhosas, depressões oceânicas e escudos);

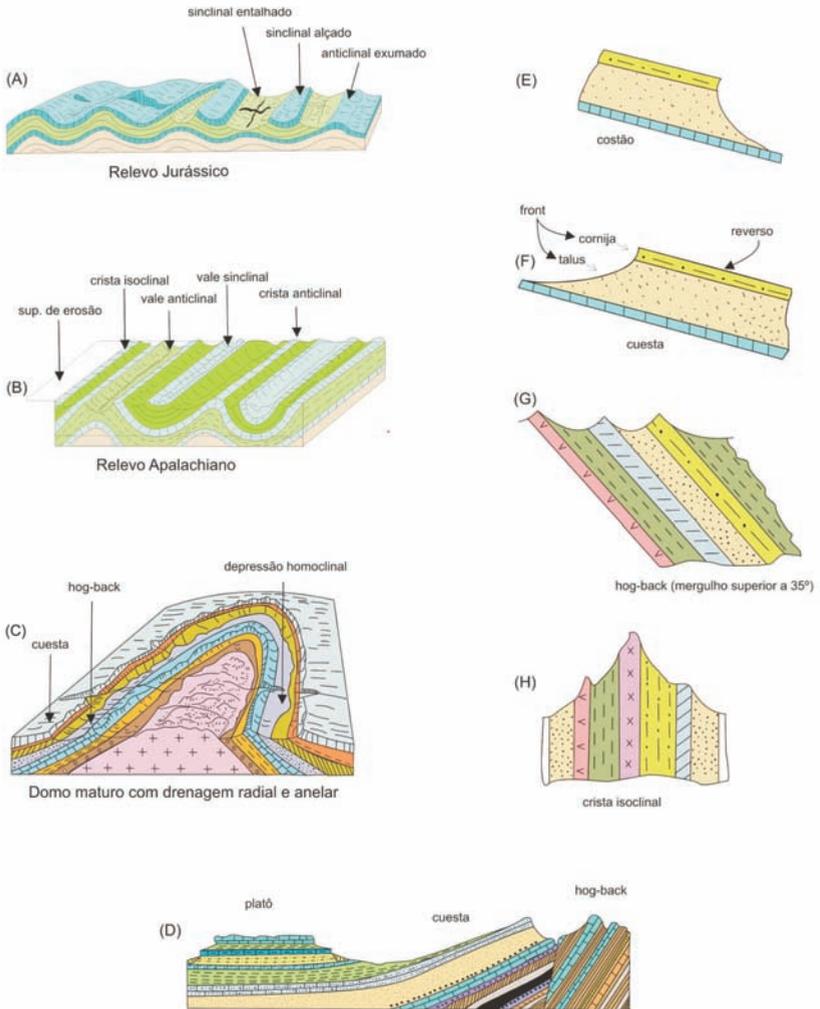
b - unidades **morfoestruturais**, designando os elementos do relevo de ordem média, tais como as cadeias de montanhas, maciços, planaltos e depressões internas dos continentes e oceanos. Algumas feições morfoestruturais estão exibidas na figura 4.1;

c - unidades **morfoesculturais**, relacionadas com a ação dos sistemas morfogenéticos.

Para o estudo fotogeológico, os aspectos das grandes feições morfoestruturais, que são as bacias sedimentares, cadeias dobradas, blocos falhados, maciços homogêneos, relevo vulcânico, montanhas complexas e relevos arrasados, são os mais importantes.

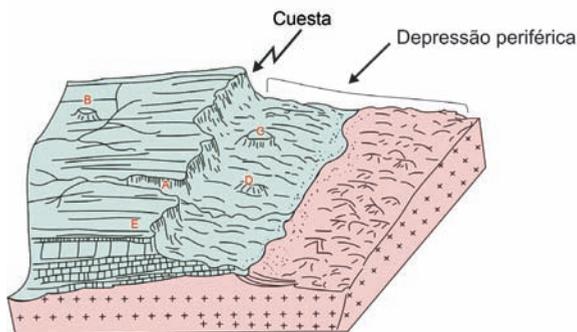
**Bacias Sedimentares**

Nas bacias sedimentares, onde as camadas são horizontais, se desenvolvem uma paisagem composta por relevo tabular de dimensões e



**Figura 4.1** - Feições morfoestruturais. (A) relevo Jurássico; (B) relevo Apalachiano; (C) relevo Dômico; (D) bloco falhado apresentando platô, cuesta e hog-back; (E) costão; (F) cuesta; (G) hog-back e (H) crista isoclinal.

altitudes variadas, dependendo da variabilidade composicional, espessura e grau de resistência das rochas. Apresentam áreas planas, com chapadões limitados frequentemente por escarpas denominadas de *cuesta*, figura 4.2. Essas escarpas muitas vezes exibem no topo camadas mais competentes, chamadas de *cornija*.



**Figura 4.2** - Morfologia da bacia sedimentar, apresentando relevo tabular.

(A) vale cataclinal; (B) testemunho de cimeira; (C) morro testemunho;  
(D) morro residual e (E) cornija

### **Cadeias Dobradas**

São áreas onde as camadas encontram-se dobradas e intensamente falhadas, compondo um relevo de cristas e vales, nas quais grande parte dos rios estão controlados por fraturas e/ou falhas. As formas de relevo dependem do tipo de dobramento e da ação erosiva. Toda evolução topográfica está determinada pela erosão diferencial. Quando observamos estruturas sinclinal e anticlinal expressas no relevo, não estamos constatando um controle tectônico original na paisagem, mas o resultado da erosão que despojou espessos pacotes de rochas, para revelar camadas resistentes dobradas, conhecidas na literatura geológica como do tipo Apalachiano.

São distinguidos os seguintes relevos de Cadeias Dobradas: relevo Jurássico, relevo Apalachiano, relevo Alpino e relevo Dômico, figura 4.1. Os dois primeiros tipos são caracterizados por sucessivas alternâncias de cristas e vales paralelizados, enquanto o tipo Alpino é composto por

fortes cristas e vales profundos. Já o relevo tipo Dômico, é uma área soerguida formada por suaves cristas com o mergulho para a parte externa da estrutura.

### ***Blocos Falhados***

Blocos falhados são feições morfoestruturais, formadas principalmente por fenômenos de falhamentos. O falhamento pode ser analisado em diferentes escalas de observação, desde microfalhas à falhas regionais e, na maioria das vezes, são identificadas no campo e registradas nos diversos sensores remotos aplicados à cartografia geológica. As principais feições morfológicas associadas à falhamentos são as seguintes: escarpas de falha, escarpas de linha de falha, grabens e horts.

- Reconhecimento de Falhas

As características geomorfológicas podem ajudar no reconhecimento das falhas e contribuir na interpretação correta da história geológica da região. O falhamento em geral possui expressão topográfica causada por movimentação de blocos que inclui elevação, descida, inclinação ou deslocamento horizontal. O tipo de falha está diretamente relacionado com o regime tectônico que ocorreu.

É muito raro uma encosta de falha representar a superfície de falhamento, como também o desnível corresponder ao deslocamento relativo de blocos (rejeito), pois o trabalho da erosão tende a aplainar o desnivelamento e mascarar a superfície da falha, bem como os ressaltos produzidos pela movimentação dos blocos. São reconhecidos os seguintes tipos de escarpas: escarpas de falha, escarpas de cuesta, escarpas em retrocesso e escarpas de abrasão marinha.

- Principais características geomorfológicas de escarpas de Falha
  - a - Faces trapezoidais nas extremidades dos morros, figura 4.3.
  - b - Sinuosidade na base da escarpa.
  - c - Vales agudos em forma de “V”, com pisos de rocha firme que se estendem até a linha de falha.
  - d - Os gradientes dos rios aumentam a medida que se aproximam da linha de falha.
  - e - Vales colmatados em frente da escarpa.

Existem outras características topográficas que podem sugerir a presença de uma falha:

- 1 - Frequentes deslizamentos de terra.
- 2 - Cursos de rios paralelos e retos que atravessam rochas com vários tipos de estruturas.
- 3 - Deslocamento de rios em ângulo reto.

- Depósitos Correlatos de uma Falha

Esses depósitos são contemporâneos da falha e podem indicar:

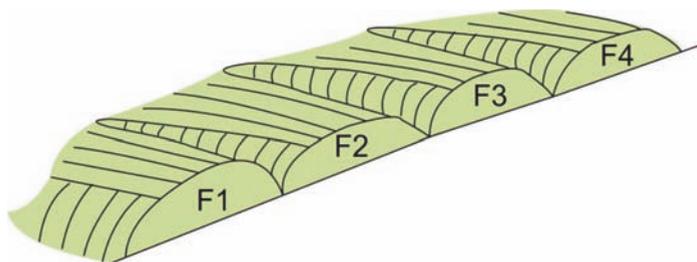
1º - A idade da falha, uma vez que alguns materiais podem conter restos paleontológicos.

2º - A topografia da fossa na época de sua formação e a velocidade relativa do deslocamento dos blocos, em função dos tipos de sedimentos.

3º - O clima da região na época em que foi produzida a fossa tectônica, devido a flora fóssil e também dos tipos de sedimentos.

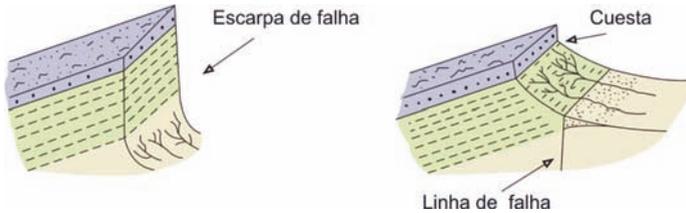
- Evolução de um Relevo Formado por Falha

Uma falha extensional/de gravidade quando se forma, imediatamente desenvolve um relevo que é gerado pelo rift. Assim, aparece uma escarpa de falha que apresenta faces trapezoidais, conforme figura 4.3.



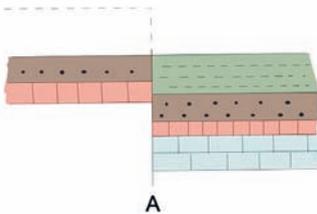
**Figura 4.3** - Faces trapezoidais

Em uma região composta por rochas sedimentares, contendo blocos monoclinais associados à falha, o retrocesso gera condições propícias ao desenvolvimento de cuesta, figura 4.4.



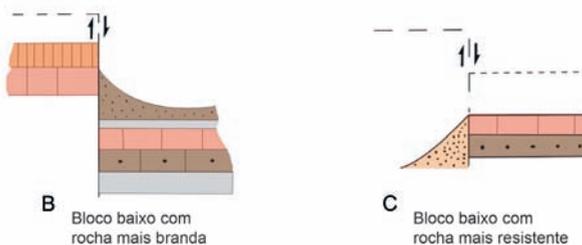
**Figura 4.4** - Evolução de um relevo de cuesta associado à falha.

Se as rochas que afloram em ambos os lados da falha tiverem durezas diferentes, a escarpa só se nivelará em um aplanamento geral com altura pouco distinta do nível de base.



**Figura 4.5A** - Nivelação em escarpa de falha

Se um novo processo de erosão atua em uma região, onde a escarpa de falha foi nivelada, podem acontecer duas possibilidades:



**Figura 4.5B e C** - Nivelação em escarpa de falha

Dessa forma, em seqüências peneplanizadas, o contato por falha entre unidades litológicas pode estar representado por um vale de linha de falha, ou através de uma majestosa escarpa de linha de falha, em função da erosão diferencial, figuras 4.5B e C.

### ***Maciços Homogêneos***

Através da denudação de antigas áreas orogênicas ou cratônicas, corpos plutônicos são expostos na superfície e trabalhados por diferentes agentes erosivos. Constitui uma área elevada, em geral dômica, de aspecto homogênea, realçada em função do contraste composicional, textural e estrutural com as encaixantes, que são mais brandas. Assim, as massas plutônicas ficam individualizadas morfologicamente, o que facilita sua identificação. Partes da serra do Mar e a serra de Friburgo são exemplos desse tipo de relevo.

### ***Maciços Vulcânicos***

Estão diretamente relacionados com processos e eventos que permitem a ascensão de material magmático. Sua filiação magmática e a estrutura do edifício vulcânico são normalmente formadas por lava e material piroclástico. Estão caracterizados principalmente pela presença de cones vulcânicos, mas as formas dos vulcões podem variar inclusive durante seu período de atividade. No Brasil existem poucos cones vulcânicos.

A atividade vulcânica na Bacia do Paraná que ocorreu de forma tabular, com derrames basálticos, propiciou um relevo composto por extensos chapadões.

### ***Montanhas Complexas***

Esse relevo é proveniente da associação de vários fatores, tais como: falhas, camadas dobradas, maciços homogêneos e maciços vulcânicos.

### ***Relevos Arrasados (Planícies)***

Os relevos arrasados são constituídos pelas planícies costeiras, planícies fluviais e pediplanos.

- **Planícies Costeiras**

As planícies costeiras são superfícies relativamente planas, baixas, localizadas junto ao mar e cuja formação resultou da deposição de sedimentos marinhos e fluviais. As formas de relevo podem resultar

tanto da ação erosiva, como da deposição que caracterizam as costas escarpadas e as costas baixas ou planas respectivamente.

Na região Norte, Nordeste e Sudeste do Brasil, a largura das planícies costeiras é geralmente estreita, confinada entre o mar e a escarpa dos depósitos sedimentares do Grupo Barreiras.

Alguns aspectos fisiográficos das planícies costeiras são descrito a seguir:

- a **falésia** é um ressalto não coberto pela vegetação, com declividade muito acentuada, altura variada e localizada na linha de contato entre a terra e o mar. A medida que a falésia vai recuando para o continente, amplia-se a superfície erodida pelas ondas, que é chamada de terraço de **abrasão**.

- a **restinga**, que é considerada na literatura como barreira ou cordão litorâneo, é formada por faixa arenosa alongada e depositada paralelamente à praia, tendo como ponto de apoio o cabo e saliências do litoral. A restinga da Marambaia no Rio de Janeiro é um exemplo típico.

- a presença de **dunas** nessas planícies costeiras, é um aspecto fisiográfico muito encontrado no litoral nordestino.

- em vários locais dessas planícies costeiras, os **cordões litorâneos** estão bem marcados, como na ilha de Tinharé Boipeba e em Mangue Seco na Bahia, fotos 1 e 2.

- Planícies Fluviais

As planícies fluviais são formadas pelas aluviões e por materiais variados, depositados no canal fluvial ou em suas margens. Os principais aspectos fisiográficos da planície fluvial são descritas a seguir:

- **planície de inundação** é a faixa do vale fluvial composta por sedimentos aluviais, bordejante ao curso de água, que periodicamente é inundada pelas águas de transbordamento provenientes do rio.

- os **terraços fluviais** representam antigas planícies de inundação que foram abandonadas. Morfologicamente surgem como patamares aplainados, de largura variada, limitados por uma suave escarpa no sentido do curso de água.

- os **diques marginais** são saliências alongadas, compostas de sedimentos que bordejam os canais fluviais. A elevação máxima do dique está nas proximidades do canal, em cuja direção forma margem alta e íngreme.

No Brasil, amplas planícies fluviais se desenvolvem associadas ao aporte de sedimentos do rio Amazonas, na ilha de Marajó e litoral do Amapá na região Norte e, associadas às feições deltaicas dos rios Parnaíba, São Francisco, Pardo e Jequitinhonha na região Nordeste.

- **Pediplanos**

Os pediplanos constituem extensas áreas arrasadas, onde afloram rochas metamórficas, normalmente gnaisses, migmatitos e rochas ígneas intrusivas. O relevo suave está relacionado a erosão seletiva ao longo de linhas de fraqueza, associadas à falhas, fraturas, dobras ou rochas brandas que formam depressões. No Nordeste do Brasil, onde ocorre o clima semi-árido, existe o desenvolvimento de pediplanos compostos por grandes áreas, nas quais estão expostos principalmente gnaisses, migmatitos, granitos e granulitos, além de sequências do tipo greenstone belt. Nessas regiões dissecadas do Nordeste do Brasil são frequentes a presença de inselbergues formados por corpos graníticos que se destacam na paisagem.

## **Elementos Morfoclimáticos**

Os elementos morfoclimáticos dizem respeito aos processos e a forma do relevo que estão relacionados ao clima da região. O conjunto das formas de relevo controladas climaticamente estão sendo sucessivamente superimpostas umas às outras. Assim, as formas de relevo de qualquer área mostram as influências de climas que se sucederam, até os atuais. O estudo dos processos morfogenéticos demonstra a importância que o fator climático assume no condicionamento para a esculturação das formas de relevo.

Dessa forma, os granitóides tal como os gnaisses, podem apresentar formas variadas de relevo, desde topografia montanhosa, até terrenos arrasados, em função de sua composição mineralógica, organização interna e pelos fatores climáticos.

Os granitos/ortognaisses em clima semi-árido, formam maciços, lajedos, formas agudas, serrilhadas e inselbergues. Nas encostas das elevações são frequentes a presença de matações. Enquanto em clima úmido, os granitos são lisos/suaves, com formas arredondadas, e, quando fraturados, mostram formas típicas em losango.

## Morfologia de Intrusões Circulares e Pequenas Intrusões

### *Intrusões Circulares*

Estão incluídas nesta parte as estruturas dômicas em geral e os corpos intrusivos. Constituem essencialmente anticlinais/antiformes elípticos que na geomorfologia são tratados por domos estruturais.

Existem quatro tipos principais de estruturas dômicas:

- domo com núcleo cristalino antigo
- domo lacolítico
- domo criptovulcânico
- domo de sal

### *Pequenas Intrusões*

Os diques são pequenas intrusões que formam relevos deprimidos ou salientes, dependendo da sua constituição petrográfica.

Diques básicos tendem a constituir vales, onde a drenagem se estabelece face a erosão diferencial. Bons exemplos são observados na serra de Jacobina, Chapada Diamantina e na serra do Espinhaço na Bahia. Já os pegmatitos que são rochas mais resistentes aos processos erosivos, exibem proeminentes cristas que se estendem por dezenas de quilômetros, como se observam em algumas regiões do Nordeste brasileiro.

### *Corpos Ígneos*

Os corpos ígneos intrusivos que são agrupados em menores (dique, *sill* e *plug*) e maiores (lacólito, lopólito, *stock*, diápiro e dique anelar), apresentam feições morfológicas distintas, a depender da composição mineralógica, estrutura interna, granulação e aspectos climáticos. A figura 4.6 exibe a forma dos corpos ígneos intrusivos menores e maiores e a 4.7 mostra o efeito do corpo ígneo nas rochas encaixantes.

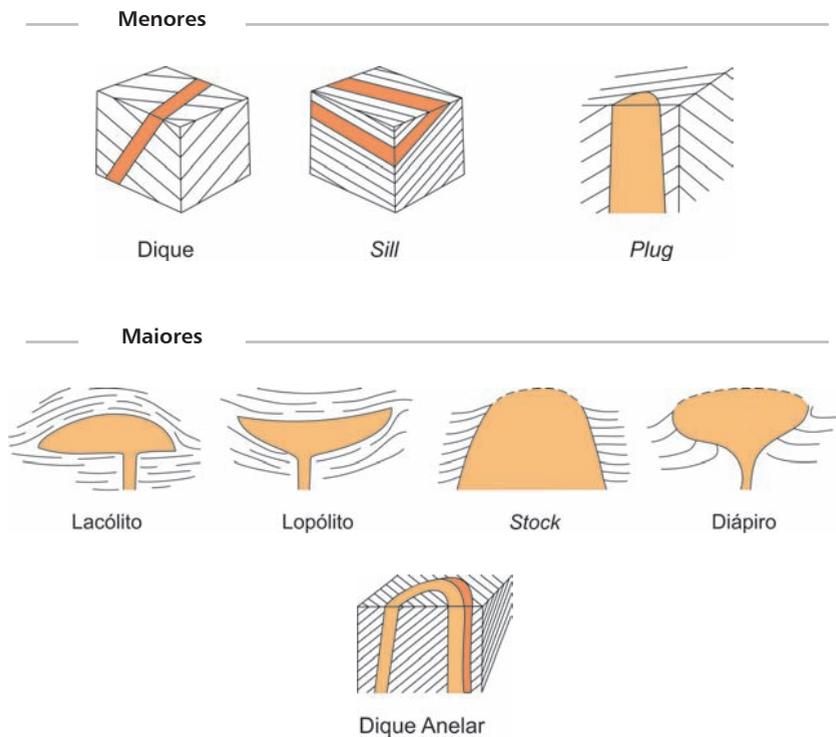


Figura 4.6 - Forma dos corpos ígneos menores e maiores. Modificado de Park, 1983.

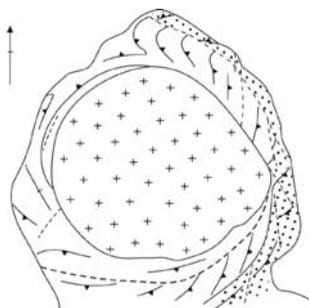


Figura 4.7 - Efeito do corpo ígneo nas rochas encaixantes. Modificado de Park, 1983.

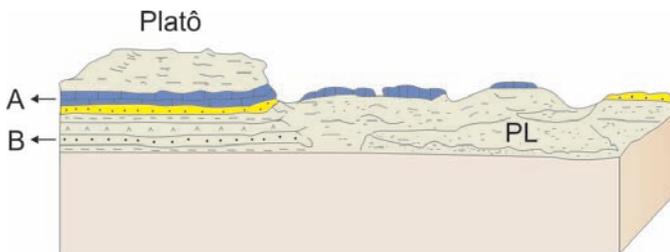
## ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural tem por objetivo principal reconstituir a evolução tectônica da área, através do estudo das deformações a que foram submetidas as rochas. Na fotogeologia, a observação que é macroscópica, inclui sobretudo os seguintes elementos: atitudes de camadas, discordâncias, ordem e grau das estruturas, contatos, estruturas dobradas, estruturas circulares/ovaladas, dobramento superposto, fraturas, falhas, zonas e cinturões de cisalhamento, lineamentos de superfícies “S”, escarpas de falha, sinclinais, anticlinais, *grabens* e *horsts*.

### Atitude de Camadas

#### *Camadas Horizontais*

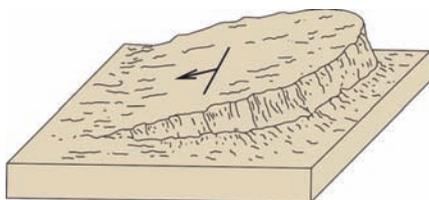
A atitude de camadas horizontais está assinalada por estratos que acompanham as curvas de nível, figura 5.1 e fotos 5 e 6. Essas seqüências quase sempre possuem camadas guias, que podem estar representadas por relevo positivo, relevo negativo, tonalidade contrastante, vegetação típica, solo específico e padrão de drenagem característico. Na fotogeologia são utilizadas como referências na delimitação e caracterização de unidades litoestratigráficas.



**Figura 5.1-** Expressão topográfica de camadas horizontais. A camada (A), mais resistente, forma um platô na parte esquerda da figura. A outra camada (B), também resistente, constitui suaves superfícies planas (PL).Vergara (1971).

### **Camadas inclinadas**

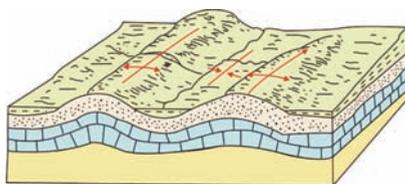
A atitude das camadas inclinadas está evidenciada pela assimetria do relevo, figura 5.2. Camada com mergulho suave, possui alta assimetria, já no caso de camada com mergulho de valor muito alto a vertical, o relevo mostra-se simétrico.



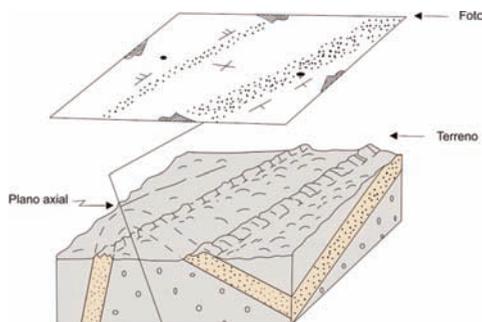
**Figura 5.2** - Forma topográfica de perfil assimétrico com indicação do sentido do mergulho. Vergara (1971)

### **Camadas Dobradas**

As estruturas dobradas, que frequentemente estão associadas com falhamentos contracionais, podem ser deduzidas pela repetição de camadas com mergulhos opostos (figura 5.3), exceto em dobras isoclinais, nas quais os estratos mergulham no mesmo sentido. A dobra assimétrica é reconhecida nas aerofotos pela diferença nas áreas aflorantes dos dois flancos. O flanco que possui menor valor de mergulho apresenta área aflorante mais larga, figura 5.4.



**Figura 5.3** - Bloco diagrama apresentando dois anticlinais com as charneiras expostas. O da esquerda com eixo horizontal e o da direita com caimento indicado. Vergara (1971)



**Figura 5.4** - Bloco diagrama com a relação da área aflorante em uma dobra assimétrica. Modificado de Pedreira (1986)

Em dobras isoclinais a identificação de antiformes e sinformes é difícil. Neste caso, o local ideal para fazer observações é o “nariz” da dobra, que pode indicar sua natureza.

Nas seqüências contendo redobramentos, estas estruturas são difíceis de serem individualizadas com clareza nas imagens, e em alguns casos, o traçado com precisão das lineações pode revelar o padrão de interferência.

## Discordâncias

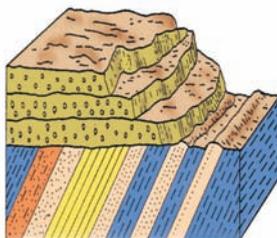
A discordância existente entre duas formações distintas não é fácil de ser caracterizada em fotogeologia, salvo em alguns casos, quando as feições nas imagens estão bem evidentes.

A discordância angular está caracterizada através dos seguintes critérios:

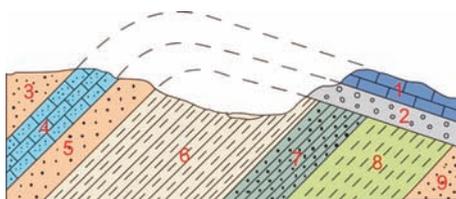
- 1 - presença de uma seqüência litológica depositada discordantemente sobre outra, figura 5.5.
- 2 - diferença de mergulho entre duas formações distintas.
- 3 - convergência da direção das camadas de duas formações.

No primeiro caso, a discordância apresenta-se de modo claro, mas com relação aos outros dois casos, a discordância pode ser confundida com dobramento ou falhamento, figuras 5.6A e 5.6B. A dúvida em

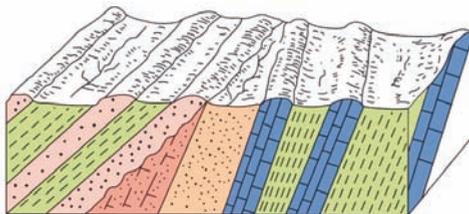
relação ao dobramento requer uma comprovação de campo, para saber se as camadas situadas em ambos os lados da discordância pertencem ou não à mesma formação.



**Figura 5.5** - Discordância angular, na qual uma seqüência horizontal esta sobreposta à outra mais antiga, com mergulho alto. Vergara (1971)



**Figura 5.6A** - Possível dúvida entre discordância e uma dobra anticlinal. As camadas 1 e 2 estão sobrepostas discordantemente sobre uma seqüência inferior. A similaridade fotogeológica entre as camadas 1 e 2 e a 4 e 5, pode deixar transparecer uma dobra anticlinal. Vergara (1971).



**Figura 5.6B** - Dúvida entre uma discordância, uma falha ou uma dobra. Vergara (1971).

A dúvida entre a linha de discordância e uma falha é analisada da seguinte maneira:

- A linha de discordância se caracteriza por um traço irregular, adaptado à topografia da área. Se a estrutura (possível discordância) mostra uma linha reta, ou uma ampla curvatura, é mais provável que seja uma falha. Se as formações mais antigas aparecem sobrepostas às mais recentes, o contato provavelmente é efetuado por falha contracional.

## **Ordem e Grau das Estruturas**

Entende-se por estrutura, um arranjo ordenado de elementos texturais e/ou estruturais, que podem ser: drenagem, relevo ou lineações.

Alinhamento é o traçado ordenado de elementos estruturais e/ou texturais unidirecionais, que podem ser: lineações positivas, negativas ou quebras de relevo.

Toda estrutura possui um conteúdo, composto por lineações e drenagens, e, uma forma, que pode ser circular, elíptica, etc.

A estrutura pode ser analisada também segundo a ordem de estruturação e o grau de estruturação.

A ordem de estruturação qualifica a complexidade da organização dos elementos, ou a superposição de padrões de organização. Tem-se uma estrutura de 1ª ordem, quando apenas uma lei define o padrão de ordenamento. Por exemplo, no caso da disposição em linha reta de elementos texturais e/ou estruturais.

O grau de estruturação refere-se a regularidade da organização dos elementos texturais e/ou estruturais. Uma forma é fracamente estruturada, quando os elementos texturais/ estruturais estão mal definidos, ou pouco organizados, e, fortemente estruturada, em caso de disposição regular, ordenada. Então, quanto maior for a ordem e o grau de estruturação, maior é a confiabilidade da estrutura fotointerpretada ser verdadeira.

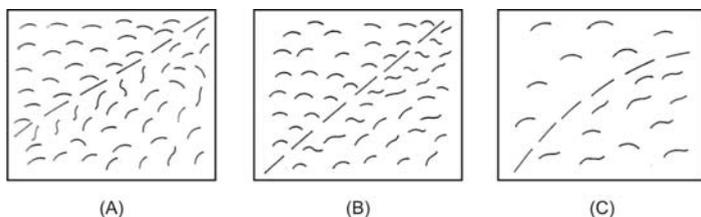
## **Contatos Geológicos**

O método lógico-sistemático desenvolvido por Guy (1966), estabelece que zonas homólogas de relevo são áreas formadas pela repetição dos mesmos elementos texturais e a mesma estrutura.

Pelo método convencional de fotointerpretação (escola americana), as zonas de imagem com propriedades texturais e/ou estruturais diferentes, também são separadas por limites definidos. O limite dessas estruturas pode coincidir com uma lineação positiva, negativa, quebra de relevo, ou lineação em série.

Quando um limite coincide com uma forma linear, estruturada, tem-se um limite definido, figura 5.7A. Quando as propriedades de uma zona homóloga são substituídas progressivamente pelas propriedades de outra, o limite é progressivo ou gradacional, figura 5.7B.

O limite envoltório acontece quando separamos dois conjuntos de propriedades texturais e/ou estruturais diferentes, sem que estas propriedades estejam bem delineadas em toda zona de contato, figura 5.7C.



**Figura 5.7** - Limite entre zonas homólogas: (A) limite definido, (B) limite progressivo e (C) limite envoltório.

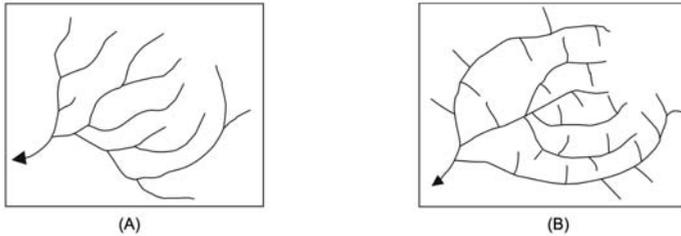
### Estruturas Circulares/Ovaladas

As estruturas circulares/ovaladas podem apresentar-se com e sem expressão topográfica (figuras 5.10 e 5.11) ou assinaladas pela rede de drenagem (figura 5.8). As estruturas que não possuem relevo são realçadas apenas pelas lineações concêntricas, indicando provavelmente dobramentos ou intrusões (figura 5.9). Algumas delas encontram-se complexamente interrelacionadas e quase sempre bordejadas por zonas de cisalhamento, fotos 16, 17 e 18 e figura 5.11A. Em outros casos, essas estruturas compõem-se de núcleos homogêneos, contendo discretas lineações na periferia. A geometria das lineações externas ao núcleo, por vezes indicam o sentido do movimento durante o processo de cisalhamento, (figura 5.11B), ou a época de colocação de corpo ígneo, figura 5.12.

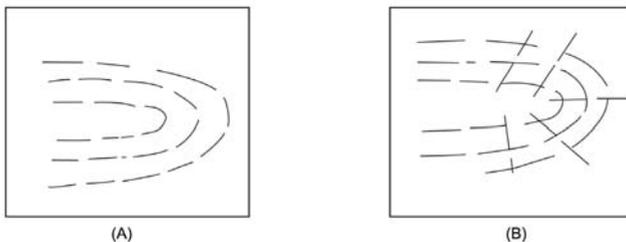
Em rocha granítica pouco deformada, as lineações mostram-se espaçadas e descontínuas, enquanto em gnaisses, migmatitos, etc, existe uma certa continuidade e o espaçamento é menor. Em gnaisses bandados, a continuidade é perfeita e o espaçamento é bem menor.

A diferença entre gnaisses bandados e zona de cisalhamento está no fato desta última apresentar uma grande densidade de lineações contínuas em uma estreita faixa linear.

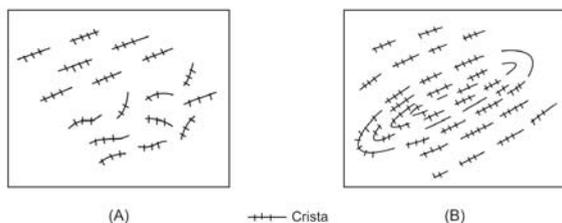
Os gnaisses bandados em geral, ocupam áreas maiores e as lineações não estão densamente ajustadas.



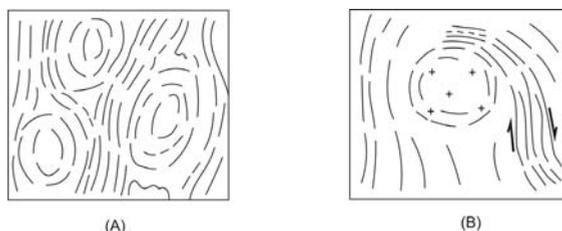
**Figura 5.8** - Em (A), estrutura de drenagem com baixa densidade, disposição anelar, fracamente estruturada e de 1ª ordem. Em (B), estrutura de drenagem com média densidade de textura, disposição anelar, fortemente estruturada e de 2ª ordem.



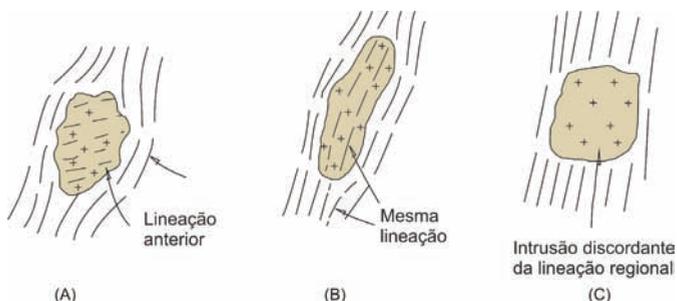
**Figura 5.9** - Em (A), estrutura de lineação fortemente estruturada e de 1ª ordem. Em (B) estrutura de lineação fortemente estruturada e de 2ª ordem.



**Figura 5.10** - Em (A), estrutura de relevo com média densidade de elementos texturais, disposição retilínea e irregular, fortemente estruturada acima, fracamente estruturada abaixo e de 1ª ordem. Em (B), estrutura de relevo com baixa densidade na periferia, e alta no centro, fortemente estruturada e de 1ª ordem.



**Figura 5.11** - Exemplos de estruturas circulares. (A) - Estruturas circulares, complexamente interrelacionadas, assinaladas pelas lineações concêntricas. Zonas de cisalhamento limitam essas estruturas. (B) - Estrutura circular composta por o núcleo homogêneo com discretas lineações na periferia.



**Figura 5.12** - Corpo intrusivo: (A) pré-tectônico, (B) sin-tectônico e (C) pós-tectônico. Modificado de Pedreira (1986).

Através do estudo das lineações, é possível estabelecer a época de colocação de um corpo plutônico com relação às principais deformações. Na figura 5.31 observa-se o corpo máfico-ultramáfico da fazenda Mirabela, nas imediações de Ipiauí, que se revela nas aerofotos como pós-tectônico, em função da ausência de lineações e pela forma arredondada que trunca as lineações regionais, (Arcanjo et al., 1996).

### **Dobramento Superposto**

Em condições favoráveis, onde existe contraste entre as litologias e escassez de vegetação, é possível se detectar a presença de figuras de interferência provenientes da superposição de dobramentos, fotos 7 e 20. Em condições ideais, alguns critérios de superposição de dobramentos podem ser diagnosticados nas aerofotos, tais como: redobramentos, presença de lineamentos pré-existentes dobrados e cruzamento de lineações, foto 12.

### **Fraturas**

Fraturas ou juntas, são planos ou superfícies que dividem as rochas ao longo dos quais não houve deslocamentos das paredes rochosas. São mais proeminentes em rochas competentes tais como: arenitos, quartzitos, granitos, granodioritos, dioritos, diabásios, etc.

Os critérios para o reconhecimento de fraturas em fotogeologia são os seguintes:

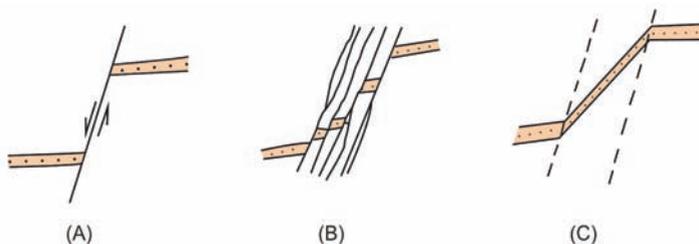
- a - rios alinhados;
- b - rio com traçado reto em um certo trecho;
- c - angularidade no padrão de drenagem;
- d - vegetação alinhada;
- e - tonalidade escura em linha reta, truncando a rocha;
- f - alinhamento de dolinas em rocha calcária;

A análise de fraturas tem por objetivo principal:

- a - estudar os aspectos tectônicos da região;
- b - caracterizar o grau de ruptibilidade das rochas;
- c - identificar as unidades litológicas;
- d - fornecer subsídios para os mapas hidrogeológicos;
- e - definir controles de mineralizações;

## Falhas

Falhas são fraturas ao longo das quais existem deslocamentos mensuráveis a olho nu, observados principalmente quando existe um nível guia deslocado, figura 5.13A.



**Figura 5.13** - Em (A), falha; (B) zona de falha (zona de cisalhamento rúptil) e (C) zona de cisalhamento dúctil.

Zona de falha é uma área linear que contém muitas falhas paralelas ou anastomosadas, figura 5.13B. Zona de cisalhamento dúctil é uma região linear na qual as rochas foram submetidas a um forte estiramento e, conseqüentemente estreitamento das camadas sem haver rompimento, figura 5.13C. Apresenta grande quantidade de lineações em uma estreita faixa.

Os principais critérios para interpretação de falhas nos produtos de sensores remotos são:

- a - deslocamento de marcadores (camadas, diques) ao longo do traço da falha;
- b - súbita interrupção de camadas;
- c - variação no mergulho de camadas em cada lado da falha;
- d - repetição ou ausência de camadas;
- e - deslocamento de fraturas ao longo de um lineamento;
- f - escarpa de falha;
- g - escarpa de linha de falha;
- h - contato brusco, linear, e anormal entre rochas distintas;
- i - contato reto entre rochas do embasamento com seqüências sedimentares/metassedimentares que fazem limites de bordo;
- j - descontinuidade de lineamento de dolinas.

### Falhas Extensionais ou de Gravidade

Falhas extensionais são aquelas em que a componente vertical é a mais importante, acarretando como resultado um bloco alto e outro baixo, figuras 5.14 e 5.15 e foto 22.

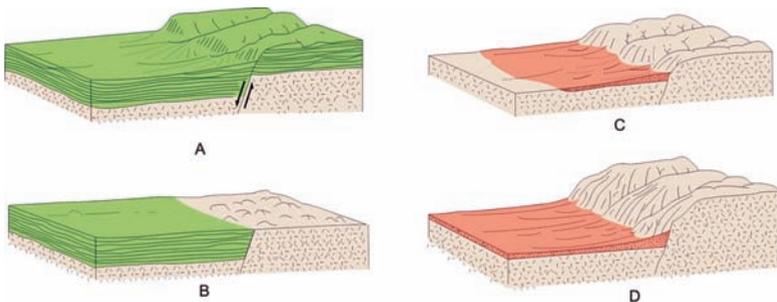
Em rochas homogêneas, a expressão topográfica é a única indicação verificada nos produtos de sensores remotos. O plano da falha só é observado quando existe escarpa. Quando não existe escarpa, a falha fica assinalada apenas pelo traço da mesma sobre o terreno, a qual se caracteriza pela linha reta que separa litologias diferentes ou pela presença de rios controlados, figura 5.15B.

A escarpa de falha é mais frequente em clima árido, do que em clima úmido.

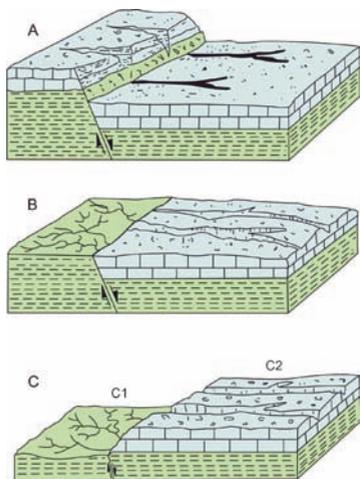
Geralmente a identificação fotogeológica de falhas é mais evidente em áreas sedimentares, do que em outro tipo de terreno.

Quando o plano da falha extensional é transversal à direção das camadas inclinadas, pode ser confundida com uma falha transcorrente, figura 5.18.

As figuras 5.14 e 5.15 mostram diferentes estágios da evolução morfológica através dos efeitos erosionais em falha extensional.

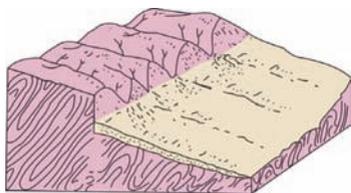


**Figura 5.14** - Etapas na formação de uma escarpa composta. A – Formação de uma escarpa de falha. B – Destruição da escarpa de falha por erosão. C – Desenvolvimento de uma escarpa de linha de falha através do avanço da erosão. D – Reativação do falhamento com a produção de uma escarpa composta, cuja parte superior é de origem erosiva e a parte inferior formada pela falha.

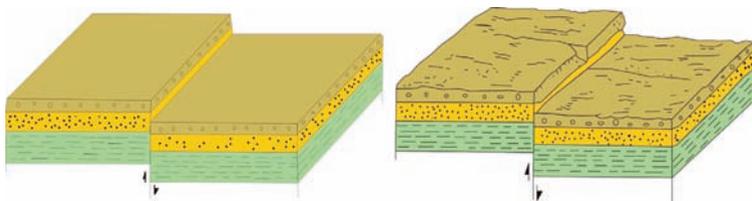


**Figura 5.15** - Inversão do relevo numa escarpa de falha. Em (A), mostra uma escarpa de falha com a indicação dos blocos alto e baixo. Com o avanço da erosão, acontece o nivelamento do terreno (B). Neste caso, o contato brusco existente entre as duas formações sugere a falha de gravidade. Em (C), a menor resistência da camada C1 em relação a C2, e com o prosseguimento da erosão, proporciona a inversão do relevo. Vergara (1971).

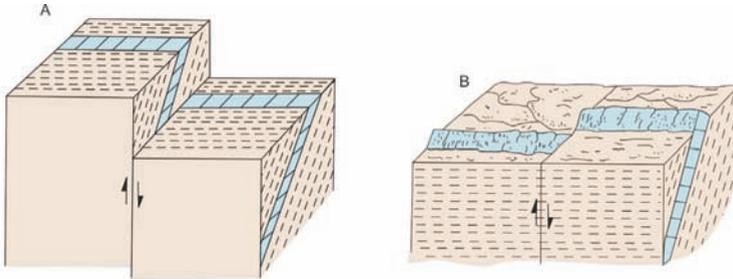
As figuras 5.16 e 5.17 mostram modelos de morfologia ocasionados por falhas extensionais verticais.



**Figura 5.16** - Escarpa de falha caracterizada por formação de faces trapezoidais. O avanço da erosão proporciona faces triangulares que aparece na figura. Com o prosseguimento da erosão são formados cones de dejeção, indicando que a falha não é tão recente. Vergara (1971).

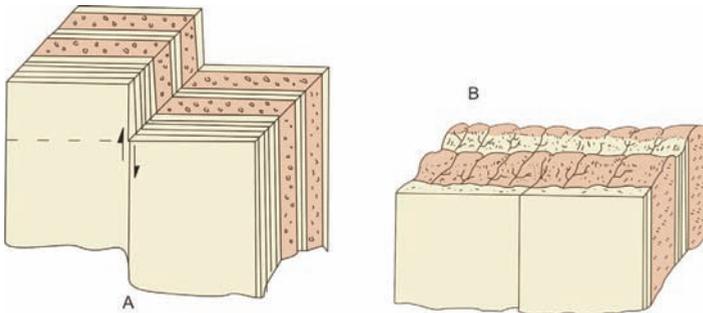


**Figura 5.17** - Falha de gravidade vertical em estratos horizontais, acarretando deslocamento de blocos. Se o bloco alto for erodido, a falha se caracteriza pelo contato entre as camadas sedimentares. Vergara (1971).

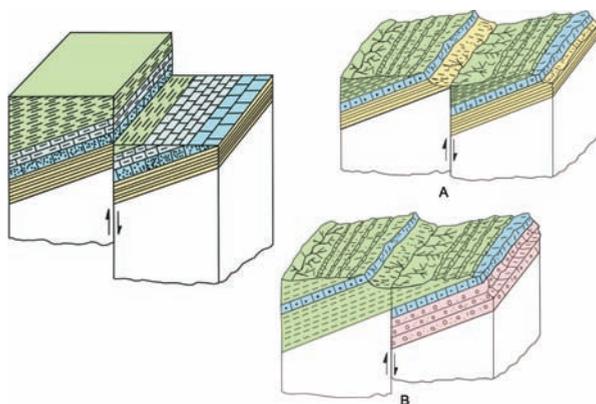


**Figura 5.18** - Falha de gravidade com o plano transversal a direção dos estratos inclinados. Acarreta falso deslocamento horizontal das camadas. Quando a falha é recente e, as camadas formam relevo, pode-se distinguir as faces triangulares. Vergara (1971).

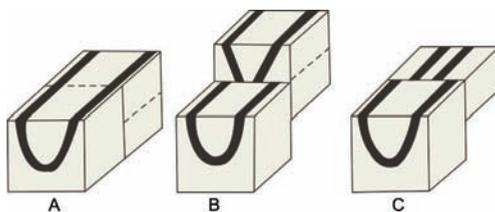
As figuras 5.19, 5.20, 5.21 e 5.22 mostram modelos de morfologia associados à falhas extensionais verticais que truncam camadas com diferentes atitudes.



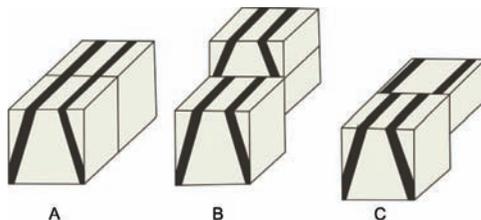
**Figura 5.19** - Falha de gravidade cujo plano é transversal à direção de camadas verticais. Neste caso não há deslocamento visível de camadas, o que é muito difícil definir em fotografia aérea, se é uma falha de gravidade ou fratura. Vergara (1971).



**Figura 5.20** - Falha de gravidade cujo plano é paralelo à direção das camadas mergulhantes. O deslocamento vertical das camadas é observado através de uma repetição ou omissão de uma seqüência de camadas. É difícil caracterizar em foto se é falha de gravidade ou fratura. Para definição do problema, é necessário conhecer a estratigrafia de ambos os lados da falha. A figura “A” mostra repetição e a “B” omissão. Vergara (1971).



**Figura 5.21** - Efeito produzido por falha extensional que secciona camada dobrada em sinclinal.



**Figura 5.22** - Efeito produzido por falha extensional que secciona camada dobrada em anticlinal.

### **Falhas Transcorrentes ou de Rejeito Direcional**

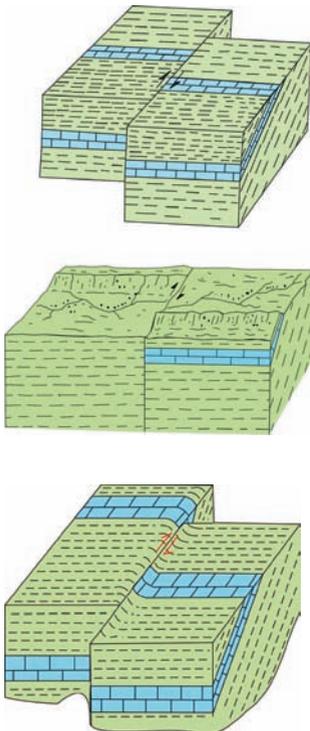
Falhas transcorrentes são aquelas cujo movimento maior entre os blocos está na horizontal. São verificadas em regimes tectônicos compressivos/direcionais e o seu traçado é aproximadamente reto.

A inclinação do plano da falha não é observada nos produtos de sensores remotos, mas em geral é vertical.

Nas rochas homogêneas, onde não existem marcadores de deformação, podem ser diagnosticadas através do arrasto.

Nas seqüências sedimentares, o deslocamento sofrido pelas camadas é quase sempre visualizado através da geometria das fotolineações, fotos 8, 10, 15 e 19 ou deslocamento de camadas, figuras 5.23 e 5.24.

É muito difícil distinguir uma falha transcorrente de uma falha de gravidade, quando esta última apresenta o plano transversal à direção das camadas inclinadas, figura 5.18.



**Figura 5.23** - Falha transcorrente, cujo plano é transversal a direção das camadas mergulhantes. As camadas estão deslocadas no sentido da falha, claramente observado nas fotos.

Uma ligeira curvatura na extremidade das camadas pode acontecer, indicando o sentido do deslocamento. Vergara (1971).

**Figura 5.24** - Falha transcorrente dextral indicada pela curvatura na extremidade das camadas.

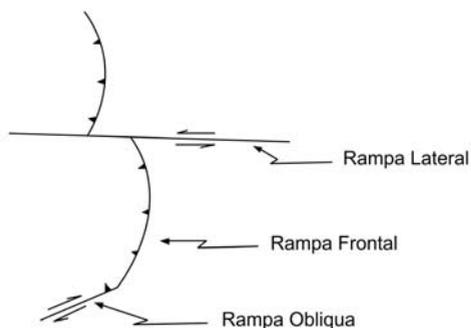
### Falhas Contracionais

Falhas contracionais ou de empurrão, são aquelas geralmente de baixo ângulo, nas quais as camadas mais antigas estão sobre as mais novas. Essas falhas indicam encurtamento crustal e estão relacionadas principalmente com os cinturões de cavalgamentos.

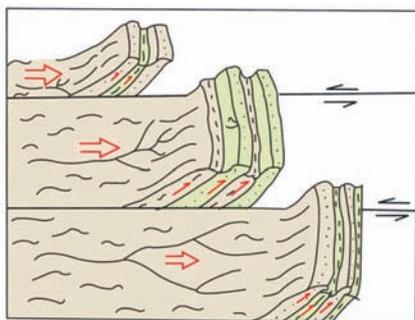
Essas áreas, cujo relevo em geral é forte, apresentam camadas imbricadas, mergulhando quase sempre no mesmo sentido, fotos 9, 11, 13 e 14.

A caracterização dessas falhas em fotogeologia é assinalada principalmente por relevo forte e pelo traçado curvo como é delineada, figuras 5.25 e 5.26.

As falhas contracionais estão frequentemente associadas com as transcorrências, sendo mais uma feição a ser observada nos produtos de sensores remotos.



**Figura 5.25** - Falha contracional mostrando o traço curvo em mapa e limitada por rampa lateral sinistral e rampa oblíqua dextral.



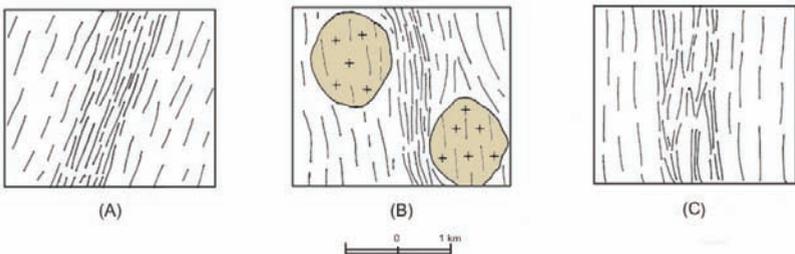
**Figura 5.26** - Falhas contracionais fornecendo uma série de camadas imbricadas (rampas frontais) limitadas por rampas laterais sinistrais.

## Zonas e Cinturões de Cisalhamento

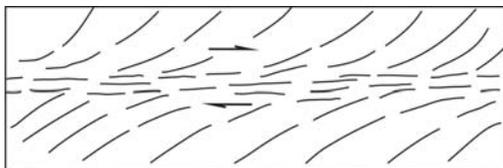
Zona de cisalhamento dúctil ou dúctil-rúptil é uma zona de grande deformação não-coaxial, com adelgaçamento de rochas e desenvolvimento de uma infinidade de planos, figura 5.28.

Apresenta faixa em geral linear, com largura podendo atingir a ordem de centenas de metros e vários quilômetros de comprimento. Grande quantidade de lineações, contidas em uma estreita faixa linear, são as principais características dessas zonas de cisalhamento nas fotografias aéreas, figura 5.27A. Algumas zonas de cisalhamento bordejam núcleos graníticos, figura 5.27B e outras constituem zonas anastomosadas contendo lineações descontínuas e irregulares, figura 5.27C. Muitas feições observadas em escala mesoscópica podem ser vistas também na escala da fotografia aérea, como dobras de arrasto, corpos rochosos deformados e rotacionados, alguns com indicação cinemática, figura 5.30 e fotos 10 e 17.

Os cinturões de cisalhamento constituem extensas faixas com largura de dezenas a centenas de quilômetros e extensão de centenas a milhares de quilômetros. A forma linear dessas faixas e a concentração de lineações nas mesmas, são as principais feições detectadas nas fotografias aéreas.



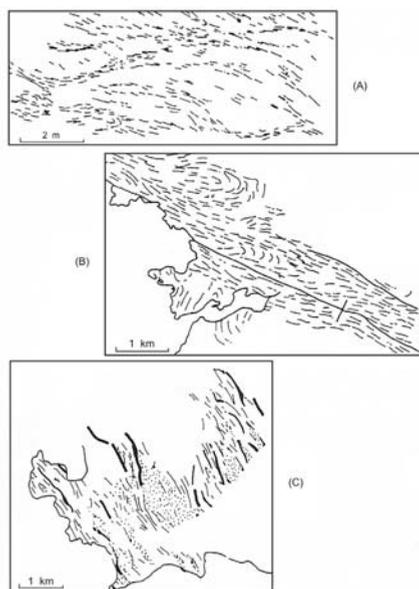
**Figura 5.27** - Exemplos de padrões de zonas de cisalhamento observados em aerofotos no Nordeste do Brasil. (A) Estreita faixa linear contendo grande quantidade de lineações. (B) Grande densidade de lineações bordejando núcleos graníticos/migmatíticos. (C) Zona de cisalhamento anastomosado portando lineações descontínuas e irregulares.



**Figura 5.28** - Zona de cisalhamento do tipo transcorrente dextral

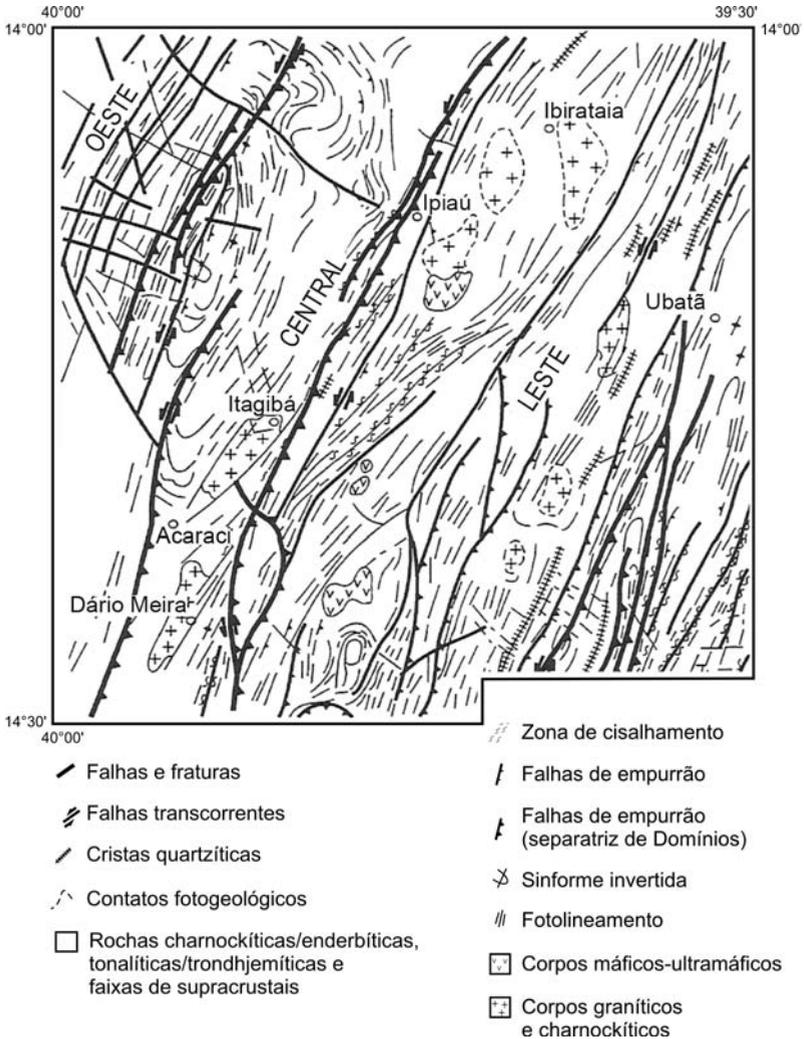
A figura 5.29 mostra diferentes tipos de padrões de zonas de cisalhamento.

Em função da grande extensão dessas faixas, elas são melhor observadas nas imagens de satélite e de radar, figuras 5.30, 5.31 e 5.32.



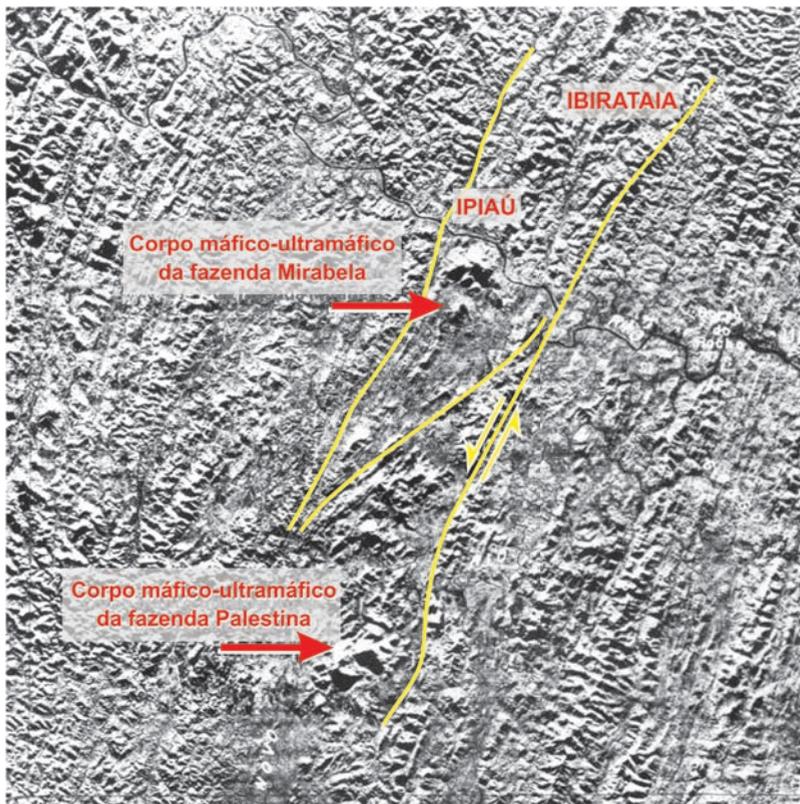
**Figura 5.29** - Padrão amendoado em zonas de cisalhamento da Escócia. (A) Estrutura de metadolerito. (B) Estrutura de gnaisses tonalíticos com metaultrabasitas associados. (C) Estrutura de gnaisses tonalíticos com indicação de zonas menos deformadas (pontilhado).

Modificado de Hasui & Costa (1991).

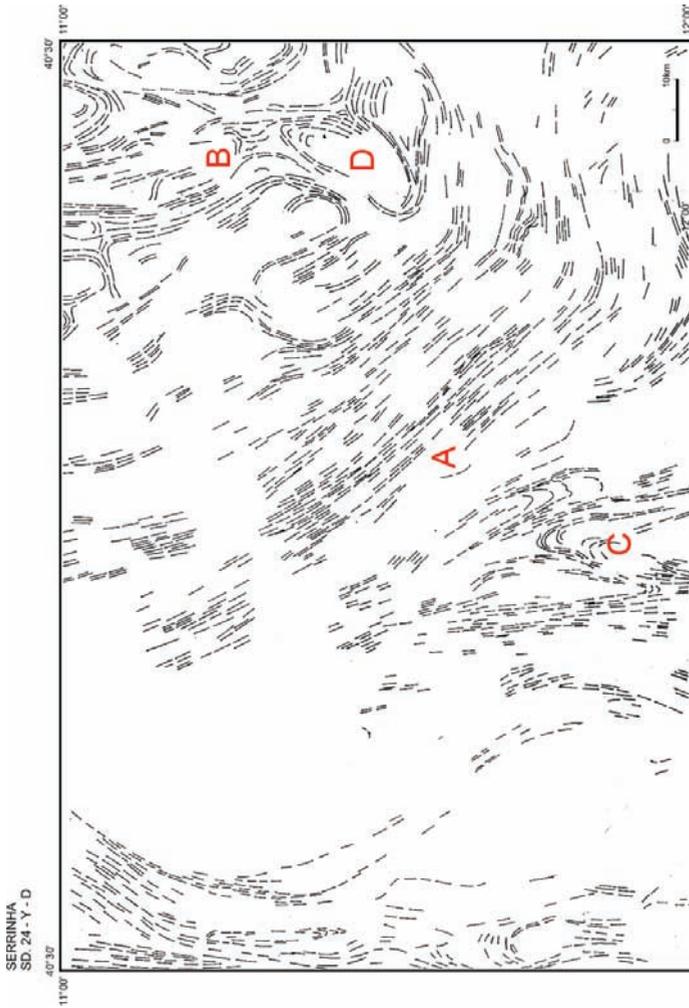


**Figura 5.30** - Principais feições fotointerpretadas dos terrenos de alto grau metamórfico da região de Ipiáú, Bahia, (Arcanjo et al. 1996).

Esta interpretação está fundamentada na imagem de radar figura 5.31.



**Figura 5.31** - Imagem de radar da região de Ipiáú, Bahia, contendo corpos máficos-ultramáficos, arredondados que truncam as foliações regionais. Observa-se os corpos anorogênicos das fazendas Mirabela e Palestina contidos em uma expressiva zona de cisalhamento sinistral. A geometria dos lineamentos internos a essa zona indica o sentido do movimento.



**Figura 5.32** - Configuração dos alinhamentos estruturais da Folha Serrinha, Ba.  
 A - fotolineações em corredor de cisalhamento; B - fotolineações em sequência tipo greenstone belt  
 bordejando núcleo granítico; C - fechamento de dobra e D - núcleo granítico.

## ANÁLISE DA DRENAGEM

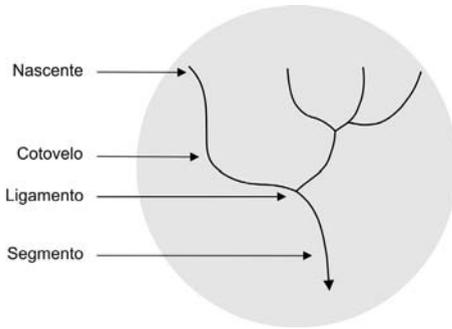
### Comentários Gerais

A rede de drenagem quando traçada de forma sistemática e uniforme, pode fornecer importantes informações sobre a estrutura e as variações litológicas da área. O arranjo do traçado da drenagem que forma uma bacia hidrográfica é o que se denomina de padrão de drenagem. Esses padrões são analisados quanto ao grau de integração, densidade, grau de uniformidade, orientação, grau de controle, ângulo de junção e angulosidade, cujas características estão relacionadas com as estruturas geológicas, condições climáticas, características físicas do solo, variação da densidade de vegetação, etc.

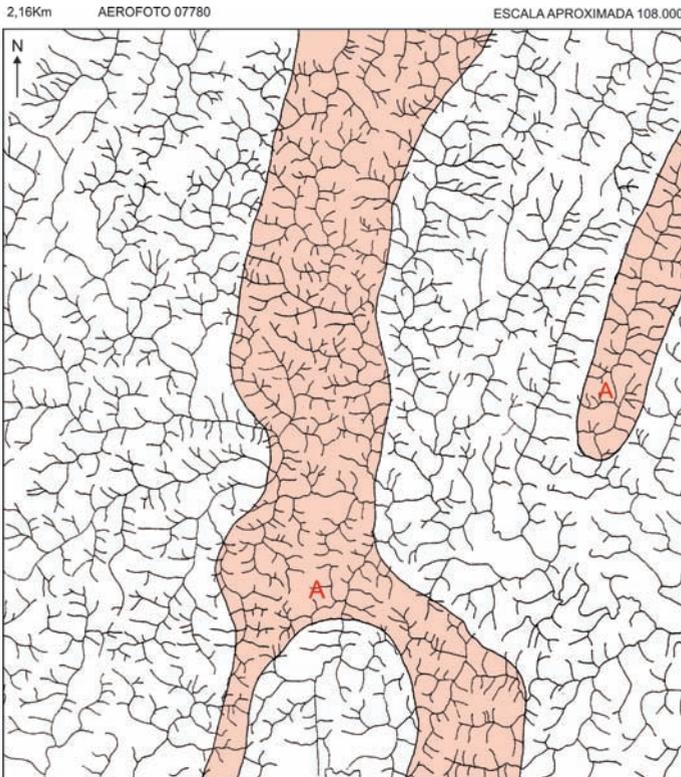
Os padrões de drenagem estão relacionados diretamente com os materiais sobre os quais eles se desenvolvem. Áreas com maior densidade de drenagem, geralmente indica baixo grau de infiltração, resultante de materiais impermeáveis. Pouca ou ausência do traçado de drenagem, sugere alto grau de infiltração ocasionado em materiais porosos.

Em regiões problemáticas, onde as litologias não estão bem evidentes, a individualização de unidades litoestratigráficas pode ser obtida através de mapas de drenagem densa e, apresentado em escala 2 a 4 vezes menor que a escala em que a drenagem foi originalmente traçada, para reduzir as imperfeições, figuras 6.2 e 6.3.

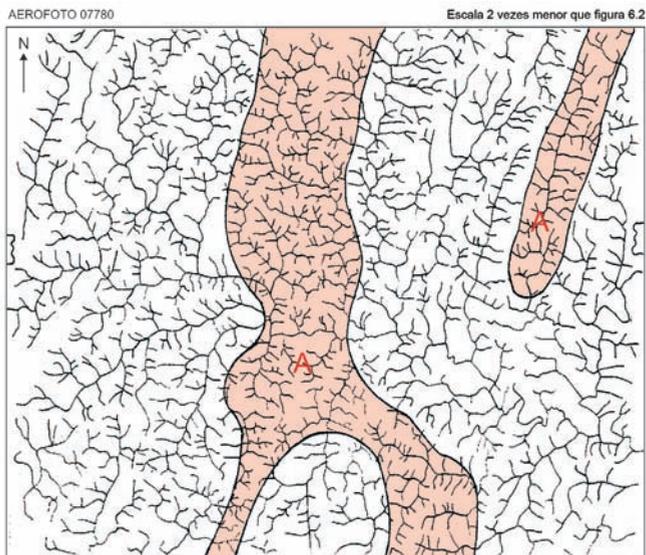
Entre as propriedades da rede de drenagem, se destacam os elementos texturais e os elementos estruturais. Os elementos texturais são as feições apresentadas na rede de drenagem: nascente, cotovelo, ligamento e segmento, figura 6.1, enquanto o elemento estrutural é a imagem fornecida pelo arranjo ordenado dos elementos texturais, figura 6.4. A foto 21 apresenta uma estrutura de drenagem na parte noroeste com formato de abacate. Essa estrutura associada a um relevo proeminente com fotolineações bem definidas, ressaltam a presença de litótipo com propriedades distintas da encaixante, ambos elevados a fácies de alto grau metamórfico.



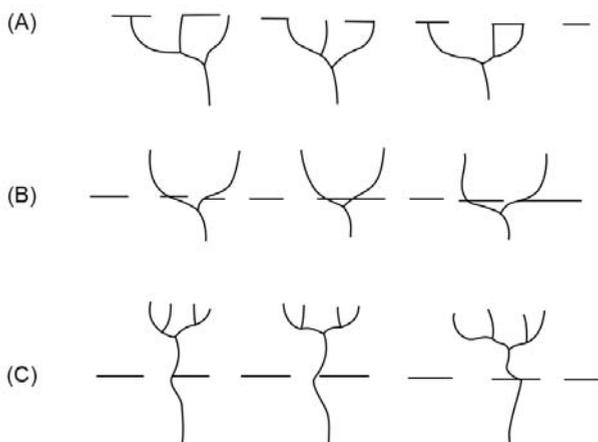
**Figura 6.1** - Elementos texturais de drenagem.



**Figura 6.2** - A maior densidade de drenagem nas áreas "A", sugere variação litológica em terrenos granulíticos do sul da Bahia.



**Figura 6.3** - Realce do traçado de drenagem nas áreas “A”, com redução de duas vezes a escala original (figura 6.2) em que foi traçada a drenagem.



**Figura 6.4** - Imagens formadas pelo arranjo ordenado dos elementos texturais.  
 (A) Alinhamento de nascentes. (B) Alinhamento de cotovelos.  
 (C) Alinhamento de inflexões de segmentos.

Todo alinhamento é uma estrutura simples. Existem as estruturas complexas, como as radiais, anelares, etc. O candelabro por exemplo, é uma estrutura complexa, de 2ª ordem e com alto grau de estruturação, figura 6.5.

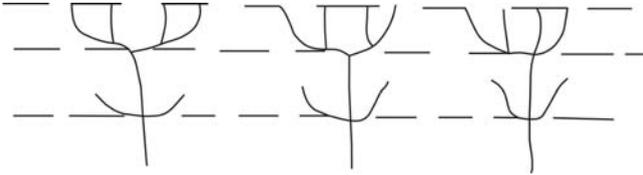


Figura 6.5 - Estrutura tipo candelabro.

## Assimetria

A assimetria é definida em função da extensão e da forma dos elementos texturais de drenagem e está relacionada com a disposição da rede de drenagem, figura 6.6.

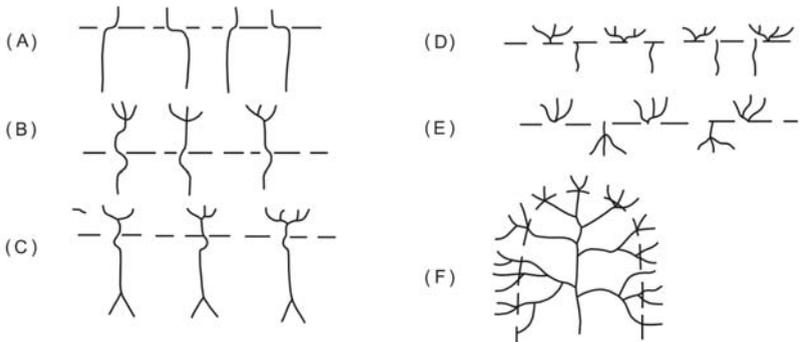


Figura 6.6 - Assimetria da rede de drenagem. (A) Assimetria através da extensão (baixa assimetria). (B) Assimetria através da sinuosidade e extensão (média assimetria). (C) Assimetria através da extensão e angularidade (média assimetria). (D) Assimetria através da densidade (alta assimetria). (E) Simétrico (assimetria nula). (F) Drenagem radial, a qual apresenta densidade alta, sinuosidade alta e angularidade baixa. Possui ainda drenagem curva, tropia multidirecional e sem simetria.

O traçado da drenagem pode indicar a presença de alinhamentos e limites de zona homóloga como na figura 6.7.

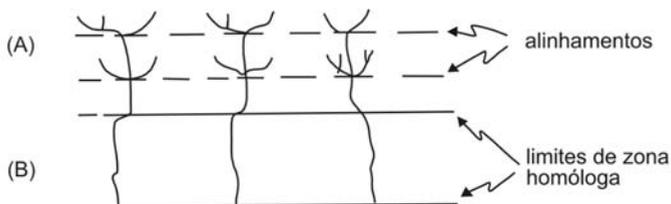


Figura 6.7 - Alinhamentos e limites de zona homóloga.

Nas zonas “A” observa-se a uniformidade em função da densidade textural, tropia, angularidade e lineações texturais, enquanto nas zonas “B” as propriedades não são persistentes, figura 6.8.

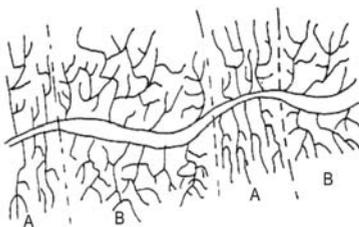


Figura 6.8 - Zonas homólogas.

### Grau de Integração

O grau de integração se refere à continuidade dos canais, exemplificado na figura 6.9.

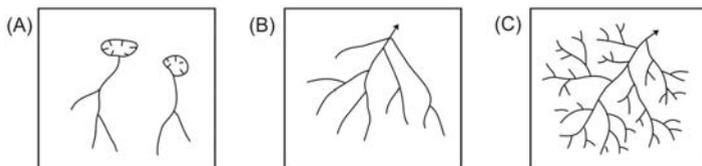


Figura 6.9 - Padrões de grau de integração. (A) Ausência ou baixa integração. (B) Moderada integração. (C) Alta integração.

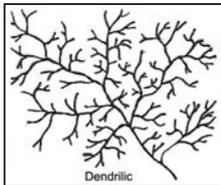
A análise da drenagem pode fornecer as seguintes informações:

- permeabilidade da rocha;
- porosidade da rocha;
- fraturamento;
- estrutura (atitude, foliação, estratificação, etc.);
- presença de corpos ígneos intrusivos;
- diferenciações litológicas.

Podem ser classificados em duas categorias: erosionais e deposicionais.

Padrão de drenagem	
Erosionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desenvolvidos livremente (figura 6.10)</li> <li>• Controlados estruturalmente (figura 6.11)</li> <li>• Básicos de drenagem (figura 6.13)</li> </ul>
Deposicionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Básicos (figura 6.12)</li> </ul>
Modificados de erosionais e deposicionais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Básicos modificados (figura 6.14)</li> <li>• Complexo, composto e palimpsético (figura 6.15)</li> </ul>

### Padrões erosionais desenvolvidos livremente (Figura 6.10)

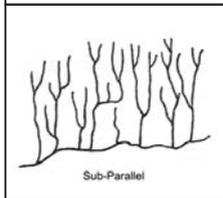
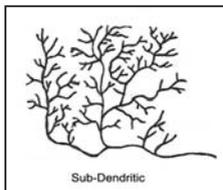


#### ***Dendrítico***

Se desenvolve sobre qualquer tipo de rocha sedimentar, ígnea ou metamórfica.

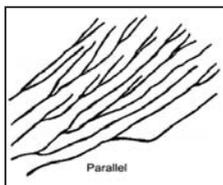
A homogeneidade é uma característica deste padrão.

Podem indicar camadas horizontais e sugerem também uniformidade litológica.



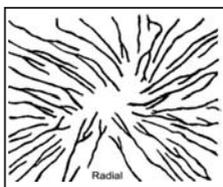
### ***Sub-dendrítico e sub-paralelo***

São padrões transicionais onde a estrutura geológica pode ter influenciado levemente os rios tronco.



### ***Paralelo***

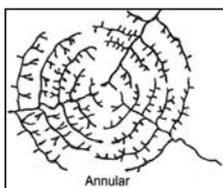
Se desenvolve sobre superfícies extensas unidirecionais, tais como planícies costeiras amplas ou estruturas homoclinais constituídas por rochas resistentes com mergulho suave.



### ***Radial***

Em geral não é influenciado pela estrutura. Pode ser centrífugo (cone vulcânico, domo) ou centrípeto (bacia, dolina). Pode ocorrer com qualquer tipo de rocha.

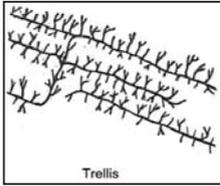
## **Padrões erosivos estruturalmente controlados (Figura 6.11)**



### ***Anular***

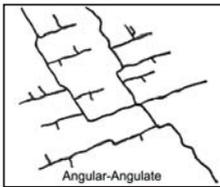
Acontece em geral combinado com padrões do tipo radial e especialmente ao redor de estruturas dômicas.

Ocorre em função da erosão diferencial sobre litologias de composição diferente.



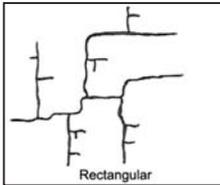
### *Treliça*

Apresenta-se em áreas estruturalmente complexas ou associado à camadas litológicas com diferentes graus de resistência. São mais frequentes em rochas sedimentares e metamórficas bandadas.

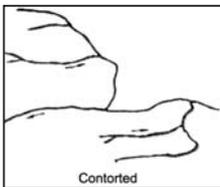


### *Angular e retangular*

São caracterizadas por mudanças de direção bruscas com ângulos variáveis devido às falhas e/ou fraturas.



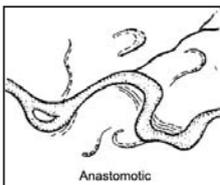
Ocorrem principalmente associados à rochas ígneas plutônicas e rochas sedimentares competentes, horizontais ou com mergulho muito suave.



### *Contorcido*

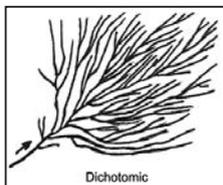
Pode estar associado à camadas monoclinais de mergulho baixo com litologias diferentes.

## Padrões deposicionais básicos (Figura 6.12)



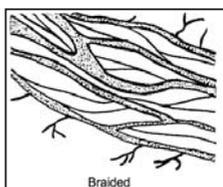
### *Anastomosado*

Ocorre principalmente em planícies deltaicas, caracterizado por rios meandantes com curvas sinuosas.



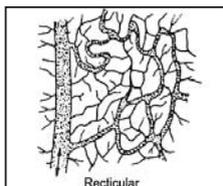
### ***Dicotômico***

Este padrão ocorre em leques aluviais. Alguns canais podem terminar em pleno leque porque a água percola no material grosso do leque.



### ***Entrelaçado***

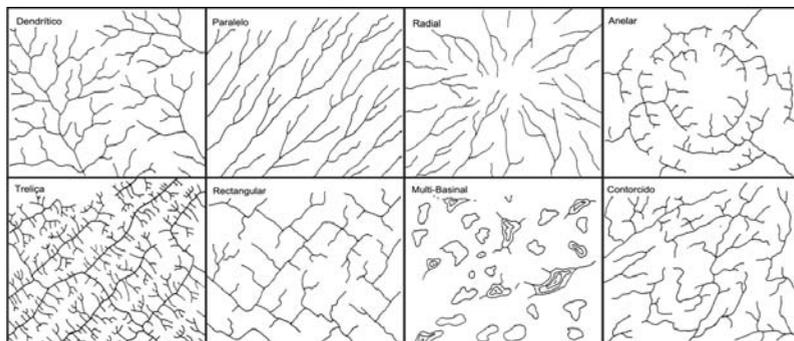
Desenvolve-se onde ocorre sedimentação em excesso em função da diminuição repentina do gradiente do rio, que então perde a capacidade de transportar sua carga. Os sedimentos então forçam o rio a mudar continuamente de curso.



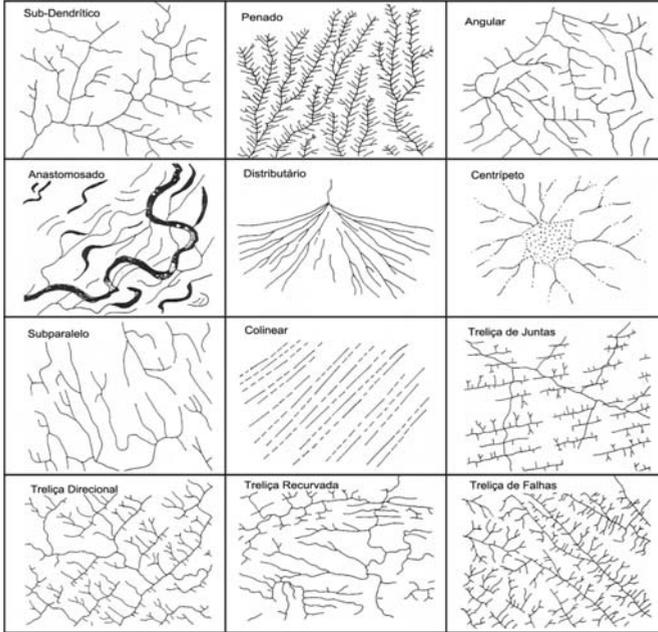
### ***Reticular***

Sistema de canais interconectados formados em zonas costeiras onde ocorrem correntes de maré.

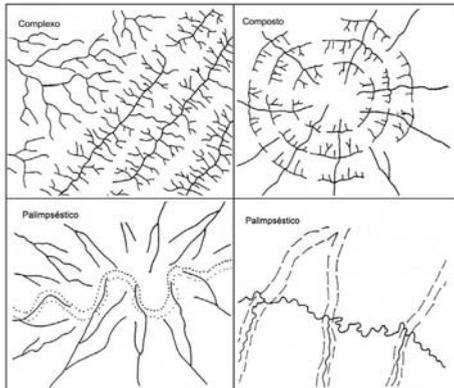
## **Padrões básicos de drenagem (Howard, 1967) (Figura 6.13)**



**Padrões básicos modificados (Howard, 1967) (Figura 6.14)**

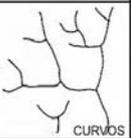
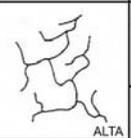
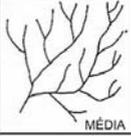
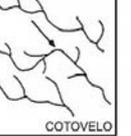
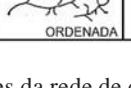
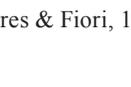


**Padrões complexos, compostos e palimpésicos (Howard, 1967) (Figura 6.15)**



## Propriedades da Rede de Drenagem

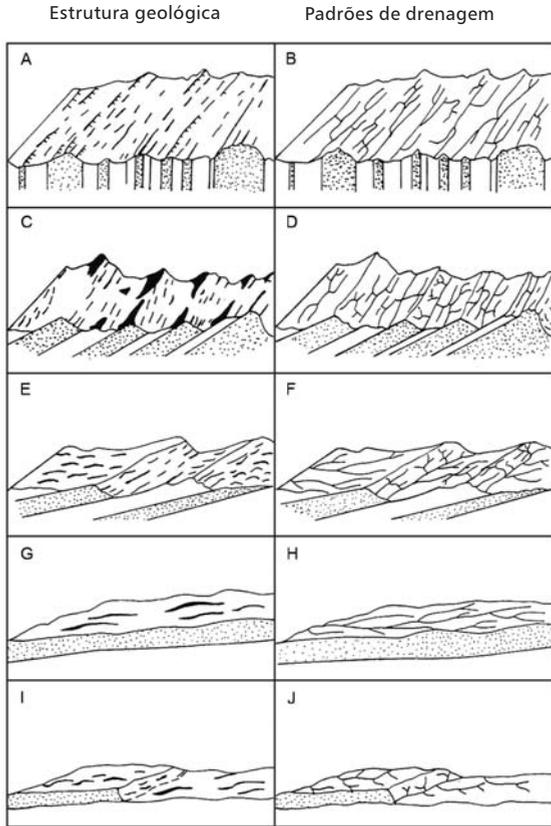
- Densidade - refere-se a quantidade de drenagem por área irrigada;
- Sinuosidade - está relacionada com a forma (sinuosidade) da drenagem;
- Angularidade - trata-se do ângulo de conexão entre as drenagens;
- Tropia - diz respeito ao arranjo da rede de drenagem;
- Assimetria - está relacionada com a disposição da rede de drenagem em relação a drenagem principal;
- Formas anômalas - são padrões específicos com localização restrita, figura 6.16.

- A- DENSIDADE	- B- SINUOSIDADE	- C- ANGULARIDADE	- D- TROPIA	- E- ASSIMETRIA	- F- FORMAS ANÔMALAS
 ALTA	 CURVOS	 ALTA	 UNIDIRECIONAL	 FRACA	 MEANDROS ISOLADOS
 MÉDIA	 MISTOS	 MÉDIA	 BIDIRECIONAL		 FORTE
 BAIXA	 RETILÍNEOS	 BAIXA	 TRIDIRECIONAL	 COTOVELO	
			 MULTIDIRECIONAL DESORDENADA		
			 ORDENADA		

**Figura 6.16** - Propriedades da rede de drenagem.  
(Modificado de Soares & Fiori, 1976)

As propriedades da rede de drenagem também auxiliam na interpretação da estrutura geológica, figura 6.17.

Os rios também são classificados de forma genética, que leva em consideração a relação entre os cursos de água e a inclinação das camadas, figura 6.18. Assim os rios são classificados em: conseqüente, subsequente, obsequente, ressequente e insequente.



**Figura 6.17** - Avaliação da estrutura geológica através das propriedades de relevo e drenagem em blocos diagramas.

O **rio consequente** está condicionado à inclinação do terreno, que em geral coincide com o mergulho das camadas, sendo retilíneo e paralelo.

O **rio subsequente** está controlado pela estrutura das camadas e acompanha as linhas de fraqueza (falha e junta).

O **rio obsequente** forma um canal de pequena extensão, descendo as escarpas até o rio subsequente. Portanto, é um afluente do subsequente.

O **rio ressequente** corre na mesma direção dos consequentes, porém nasce em nível topográfico mais baixo, no reverso das escarpas.

O *rio insequente* corre de acordo com a morfologia do terreno e em direção variada, sem nenhum controle geológico aparente.

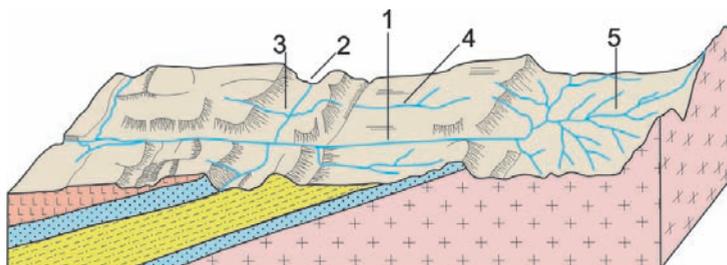


Figura 6.18 - Classificação genética dos rios: (1) consequente; (2) subsequente; (3) obsequente; (4) ressequente e (5) insequente. Guerra & Cunha (1994).

### Exemplos de Interpretação Geológica Através das Formas de Drenagem

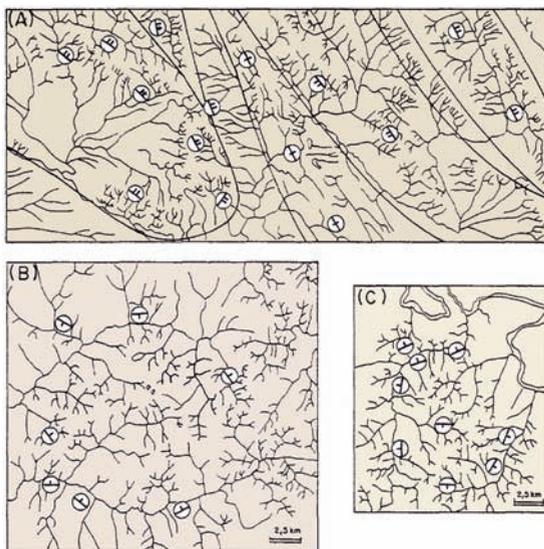
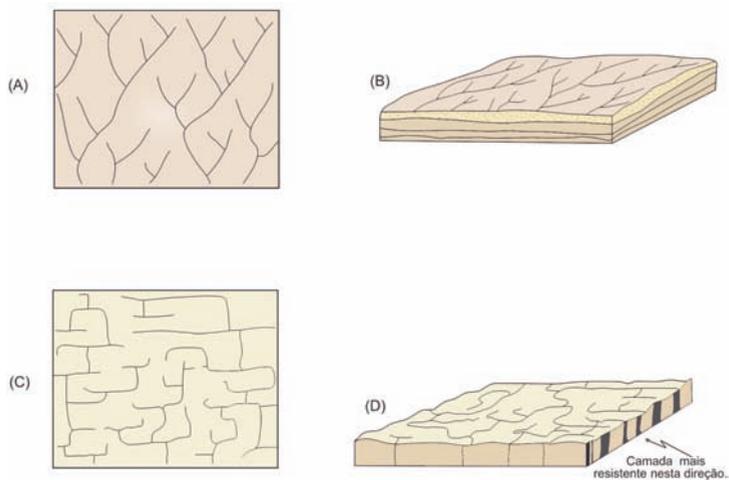


Figura 6.19 - (A) áreas moderadas e fortemente dobradas; (B) baixo estrutural (bacia); (C) alto estrutural (domo).



**Figura 6.20** - Relação drenagem e camada geológica. (A) Forma ajustada para ampla cobertura de drenagem uniforme. (B) Bloco diagrama mostrando a ausência de controle geológico. (C) Drenagem controlada por barreiras ao escoamento. Drenagem bidimensional com alta angularidade. (D) Bloco diagrama apresentando a disposição das camadas mais resistentes.

## TONALIDADE – TEXTURA – VEGETAÇÃO

### Tonalidade

Entende-se por tonalidade, a variação de tons de cinza que compreendem desde o branco até o negro. Pode estar relacionada com o teor de quartzo contido no solo ou na rocha, umidade, vegetação, alterações hidrotermais e teores de Fe, Mn, Cr, etc.

Outros fatores também influenciam na tonalidade, como: técnica de tomada da fotografia; o filme utilizado; tipo de filtro; método de revelação; e as condições climáticas no momento da tomada da fotografia. Dependerá também da natureza, cor, forma, estrutura e orientação da superfície imageada. Uma grande área com rocha exposta, pode apresentar tons de cinza claro a branco, em função da alta reflectância transmitida pela mesma. Já na imagem falsa cor (composição colorida 7 – 4 – 1) do LANDSAT, essa área apresenta-se geralmente com tons rosados a avermelhados.

De forma geral, as rochas sedimentares de granulação fina (siltitos, argilitos e folhelhos), apresentam tons em torno do cinza médio enquanto os arenitos e conglomerados possuem tons próximos do cinza claro. As rochas metamórficas e ígneas, a tonalidade geralmente depende dos minerais presentes na composição.

As rochas básicas e ultrabásicas fornecem tonalidades escuras, enquanto os gnaisses, granitos e quartzitos apresentam tons claros.

A imagem de satélite LANDSAT (TM), com 256 tons de cinza, é a que apresenta maior variação de tonalidade, em função das sete faixas espectrais detectadas pelo sensor.

A ação antrópica pode influenciar consideravelmente a tonalidade fotográfica.

Pelo exposto acima, deve-se ter precaução ao analisar as variações de tons nas imagens.

### Textura

A textura fotográfica refere-se a um conjunto de pequenos detalhes que são distinguidos individualmente, conjugados com a tonalidade fotográfica de cada um deles.

A forma, dimensão, disposição e sombra desses detalhes, vão contribuir para a formação da imagem final. Assim é possível diferenciar por meio da textura duas unidades geológicas que apresentam a mesma tonalidade. Designação apropriada para certo tipo de textura, as vezes torna-se difícil de ser encontrada, todavia nem sempre há designação adequada, o importante para o fotointérprete é o reconhecimento dos diferentes tipos de texturas. Essas diferenças geralmente têm um significado geológico, podendo contribuir juntamente com outros critérios, para o entendimento sobre a distinção das litofácies. Pode acontecer por exemplo, que uma determinada unidade geológica apresente uma combinação de um tom de cinza com uma textura e que uma segunda unidade, tenha o mesmo tom de cinza da primeira, porém com uma textura ligeiramente diferente.

As texturas estão relacionadas à fenômenos associados a cada tipo de rocha, como: porosidade; infiltração de água; formas de dissolução; tipos de erosão; densidade de encostas, fraturamentos e blocos desagregados da rocha.

Os granitos frequentemente exibem texturas rugosas, em função da concentração de matacões, ou mesmo pela superfície irregular. As rochas metamórficas mostram geralmente texturas bandadas, devido ao bandamento metamórfico. Já as rochas básicas e ultrabásicas, que são contempladas com raros afloramentos, possuem texturas lisas e com boa vegetação, a depender do clima.

As principais denominações de texturas são as seguintes: grossa, fina, lisa, áspera, uniforme, variada, bandada, manchada, granular, linear, em blocos e lanosa.

## **Vegetação**

A vegetação pode mostrar seletividade geológica pela composição mineralógica da rocha, que influencia nas propriedades do solo, criando condições favoráveis ao crescimento de distintas espécies vegetais.

A vegetação contribui muitas vezes para destacar feições estruturais e litológicas da área. Falhas e juntas permitem o desenvolvimento de concentrações de solos particularmente adaptados para certos tipos de vegetação. Uma falha poderá ser reconhecida pelo alinhamento de

numerosas fontes, mesmo sem identificá-las nas fotos, a concentração de vegetação em torno delas será facilmente caracterizada. Também contato estratigráfico ao longo de um declive, por exemplo, entre uma camada de arenito poroso com folhelho impermeável, poderá dar origem a uma série de nascentes e a correspondente concentração de vegetação. Contudo, se a vegetação for muito densa, pode mascarar essas feições e dificultar o estudo fotogeológico.

O desenvolvimento da vegetação depende de vários fatores como: o clima (temperatura, chuvas); umidade; permeabilidade; fraturamento e a formação de solos, os quais estão associados às litologias.

Assim, a vegetação está condicionada diretamente à litologia e ao clima. Em rocha básica e ultrabásica, desenvolve um solo vermelho argiloso que propicia a implantação de vegetação com árvores de médio a grande porte. A vegetação alinhada pode ser indicativa de fratura ou falha, ou mesmo caracterizar um sistema de fraturas ou falhas.

Em área com grande densidade de vegetação, como na região amazônica, a fotointerpretação deve ser complementada com imagem de radar, pelo fato das microondas possuírem maior poder de penetração.

## IDENTIFICAÇÃO LITOLÓGICA

Para a interpretação litológica, o geólogo deve basear-se na convergência das evidências apresentadas, principalmente pelo relevo, padrões de drenagem, feições estruturais, textura e tonalidade.

A expressão topográfica representa em geral uma resposta da rocha aos processos de erosão, podendo-se distinguir de imediato as rochas brandas das mais resistentes, as maciças das estratificadas ou bandadas. A quantidade de informações fornecidas pelas expressões topográficas depende da história geomorfológica da área.

As diversas tonalidades que aparecem nas fotos, podem ser reflexos de tipos litológicos diferentes. A maior ou menor clareza, com que as rochas são distinguíveis nos sensores remotos pela tonalidade, depende em grande parte da espessura do solo. Quanto mais espesso for o solo, menos clara é a correlação entre tonalidade e o tipo litológico. Essa espessura depende do clima, sendo maior em regiões úmidas. Em áreas com topografia acentuada, os solos são menos espessos do que nas regiões planas.

### Áreas Sedimentares

As áreas sedimentares proporcionam mais informações fotogeológicas sobre as rochas e estruturas, do que às formadas por rochas ígneas e metamórficas. A heterogeneidade proporcionada pela alternância de camadas com diferentes características físicas, produz erosão diferencial entre os estratos brandos e resistentes. Dessa forma, os resistentes se destacam mais na topografia, do que os menos resistentes, caracterizando um relevo com alternância de cristas e vales, os quais refletem a estratificação sedimentar.

Quando os tipos litológicos não estão realçados pelo relevo, podem estar diferenciados por: camadas ligeiramente brandas; vegetação seletiva; por mudança na tonalidade dos estratos; diferença na textura ou nos padrões de drenagem.

O reconhecimento da estratificação a partir dessas feições fotográficas e da continuidade das fololineações é importante para distinguir as feições planares relacionadas a tectônica.

Quando as camadas estão inclinadas, as cristas apresentam-se assimétricas e indicam o mergulho dos estratos. Quando as rochas estão horizontalizadas, com relevo tabular, as melhores observações são realizadas no paredões ocasionados por rios entalhados ou nas escarpas.

Uma unidade sedimentar está definida nas aerofotos em função do grau de resistência aos processos erosivos (relevo), tipo de estratificação, drenagem, tonalidade, textura e vegetação.

Pela forma como se apresentam as camadas, o fotointérprete poderá estabelecer a espessura aproximada das mesmas e a posição relativa entre elas.

A coluna estratigráfica preliminar pode fornecer importantes elementos para análise estrutural, ou seja, se existe discordância entre os estratos, presença de blocos falhados com interrupções de camadas e dobramentos associados.

A depender do clima, da disposição das camadas e da forma do relevo, as características fotográficas de uma mesma rocha pode mostrar variações consideráveis. Assim, não existe critério definido que possa ser utilizado em todas as áreas, para um mesmo tipo litológico.

## **Rochas Ígneas Plutônicas**

As rochas ígneas plutônicas, que geralmente são homogêneas e uniformes, possuem aspectos maciços nas aerofotos, sem foliação penetrativa, salvo nos casos em que esses corpos estejam muito deformados. As características topográficas, que são importantes na interpretação dessas rochas, estão relacionadas com a composição mineralógica, tamanho dos grãos, fraturamento e o clima.

Regiões com predomínio de rochas graníticas são geralmente caracterizadas por grandes áreas com superfície suavemente abaulada. Um padrão cruzado de juntas aparece quase sempre, podendo ser visto não só em locais com boas exposições, como também em áreas cobertas por vegetação.

Quando as fraturas são bem desenvolvidas e o relevo é moderado, a superfície apresenta sulcos angulares, com a erosão isolando blocos talhados e matacões. Quando o relevo é suave, as fraturas são representadas principalmente por traçados retos ou angulares do padrão de

drenagem, ou pela distribuição ordenada da vegetação. Em áreas com juntas pouco frequentes, largamente espaçadas ou ausentes, as formas de erosão são mais arredondadas e o padrão de drenagem pode ser dendrítico.

As rochas intrusivas em geral se destacam das encaixantes, ocupando áreas topograficamente mais elevadas. Quando a rocha intrusiva é menos resistente que a hospedeira, ocasiona uma depressão circular, oval ou assume forma irregular.

Em locais onde os granitos e outras rochas ígneas entram em contato com litologias metamórficas, o estudo da drenagem pode facilitar a distinção dos dois tipos litológicos, dendrítica na área de ígneas, contrastando com um padrão adaptado a xistosidade na parte de litótipos metamórficos.

Os granitos são difíceis de serem identificados em aerofotos, se estiverem encobertos por espesso solo e com grande cobertura vegetal.

Em alguns casos, as relações de contato da intrusiva com a encaixante pode ser observada e deduzida a época de sua colocação, como no exemplo do corpo anorogênico máfico-ultramáfico da fazenda Mirabela, Sul da Bahia, figura 5.31.

### ***Diques e Sills***

Diques e sills são identificados nas aerofotos principalmente pela forma, tamanho, tonalidade e relações estruturais com as encaixantes.

Os pegmatitos, como usualmente são cinza claros a brancos, são facilmente reconhecidos nos sensores remotos pelo contraste com as rochas hospedeiras.

Os diques são distinguíveis principalmente pelos traçados retilíneos, que truncam as estruturas regionais, muitas vezes transversais. Estão caracterizados pela diferença de tonalidade ou por expressão topográfica ou ambas. Aparecem frequentemente formando cristas, e, menos comuns em vales, quando a rocha do dique é menos resistente que a encaixante.

Os *sills* são mais difíceis de serem identificados nas aerofotos que os diques, em função de serem concordantes com as encaixantes. A distinção está baseada somente no contraste da tonalidade e pelos aspectos estruturais.

Os lacólitos quando erodidos até o núcleo, podem ser distinguidos pelo caráter maciço da rocha intrusiva, em contraste com as cristas salientes das rochas encaixantes. Estando associados diques e *sills*, a drenagem poderá ser radial ou anular.

A expressão topográfica de condutos vulcânicos depende de sua resistência em relação à rocha encaixante, podendo constituir pico na forma de cone quando for mais resistente.

### **Rochas Vulcânicas**

As rochas vulcânicas quando são de origem relativamente recente, são facilmente identificadas pelas irregularidades da superfície, associação com cones vulcânicos e outras características. Quando os derrames estão profundamente erodidos, como é o caso mais comum no Brasil, eles podem ser semelhantes às rochas sedimentares resistentes, a não ser que se tenham informações sobre a geologia local, ou a escala das fotos seja suficiente para revelar características estruturais tais como diaclasamento colunar.

### **Rochas Metamórficas**

Dos três tipos de rochas, as metamórficas são as mais difíceis de serem fotointerpretadas.

A expressão superficial dessas rochas depende sobretudo da litologia e do grau de metamorfismo. Quando a rocha metamórfica originou-se de uma rocha sedimentar com fraco metamorfismo, a estratificação original pode ser preservada e reconhecida nas fotos, principalmente quando os protólitos sedimentares constituíam uma seqüência interestratificada.

Quando o metamorfismo é intenso, a rocha tende a homogeneizar-se em sua resposta à erosão, dificultando a interpretação fotogeológica.

O metamorfismo de contato só é identificado nas aerofotos, se a zona afetada for extensa ou o metamorfismo deixar um registro muito forte.

Mesmo no caso de metamorfismo de alto grau, as deformações podem ser reconhecidas nas fotos e traçadas de forma sistemática, para auxiliar a interpretação estrutural.

## Alguns Padrões de Identificação Litológica

- Drenagem densa, relevo ondulado e tonalidade cinza médio, indicam a presença de uma rocha impermeável, pouco resistente, e de cor clara, que provavelmente deve ser uma rocha pelítica (folhelho, argilito, siltito).

- Drenagem com baixa densidade, relevo abrupto e tonalidade escura, são feições indicativas de uma rocha porosa, com drenagem parcialmente interna, resistente à erosão, que pode ser uma rocha pefítica (conglomerado, metaconglomerado).

- Drenagem com baixa densidade, apresentando padrão controlado, tonalidade clara e relevo em forma de crista, indicam uma rocha porosa e permeável. Se fraturada e de cor cinza claro a branco, sugere uma rocha psamítica (metarenito, quartzito).

- Drenagem com média densidade, relevo ondulado, frequentes lineações, tonalidade cinza médio e com pontuações claras, sugerem uma rocha metamórfica, susceptível aos processos erosivos. De cor clara e formando lajedos, deve ser provavelmente um gnaiss/ortognaiss ou migmatito.

## Características Fotogeológicas de Algumas Rochas

Estas características expostas a seguir, não são todavia definitivas, uma vez que podem variar com o clima, a estrutura, composição interna, associação litológica e outros fatores. Assim é imprescindível o controle de campo para orientar a fotointerpretação.

**Quartzitos/Metarenitos** - São rochas resistentes, com cristas arredondadas ou agudas e com o *dip slope* bem evidente. A estratificação em geral aparece nas escarpas ou nos entalhes da drenagem. Drenagem pouco densa, com padrão dendrítico, angular ou treliça.

**Mármore/Calcários** - Em clima árido são semelhantes aos quartzitos. Em clima úmido, tem formas arredondadas, drenagem interna e dolinas. Ao longo de fraturas mostram alinhamentos de dolinas alongadas.

**Ardósias** - Resistência baixa e divisores de água arredondados, com encostas íngremes. Em clima árido, as formas são mais abruptas.

Drenagem densa com padrão dendrítico e angular, devido à clivagem e às fraturas. Tonalidade cinza escuro a médio. Podem ter muita cobertura residual.

**Xistos e Filitos** - Fortemente foliados, com formas lisas ou arredondadas em clima úmido e formas mais abruptas em clima árido, com divisores de água íngremes.

**Gnaisses** - São mais resistentes que os xistos e filitos e podem parecer com rochas intrusivas, exceto quando possuem intercalações de litologias distintas.

**Granitos** - Os granitos por serem em geral maciços e homogêneos, se destacam com relevos fortes, montanhosos e com freqüentes exposições. O solo pouco desenvolvido no clima árido e mais expressivo no clima úmido, permite que a vegetação se desenvolva mais neste último. Predominam tons de cinza claro a médio, com drenagem dendrítica esparça, por vezes angular, controlada por fraturamento e mais raramente radial.

**Ortognaisses e paragnaisses** podem ser diferenciados pelas características fotogeológicas:

#### **Ortognaisses**

- Relevo com morros proeminentes
- Tons mais claros
- Bandamento raramente visível
- Formas homogêneas, semelhantes a granitos

#### **Paragnaisses**

- Relevo com morros arredondados
- Tons mais escuros
- Bandamento mais evidente
- Formas mais heterogêneas, com associação frequente de xistos e básicas

**Rochas básicas** - Essas rochas constituem manchas escuras, mostram formas em geral irregulares, com relevo predominantemente suave, solo bem desenvolvido, que proporciona uma textura lisa.

**Rochas ultrabásicas** - Possuem em geral relevo suave ou plano, fina rede de drenagem, tons que variam de cinza médio a cinza escuro, textura lisa e solo bem desenvolvido que acarreta a implantação de uma vegetação densa.

## FORMAÇÕES SUPERFICIAIS

A identificação dessas coberturas nas fotografias aéreas se baseia essencialmente na análise de elementos tais como: drenagem, tonalidade, textura, rasgos erosionais, vegetação natural, cultivo, relevo e forma da pendente.

Inicialmente são individualizadas e caracterizadas as unidades maiores da área, e posteriormente, se houver necessidade, são realizadas sub-divisões através de padrões locais.

### Coberturas Residuais

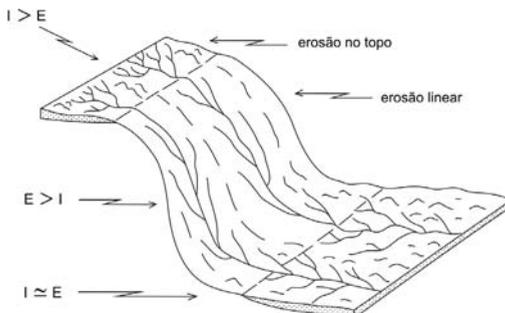
As coberturas residuais, que apresentam em geral relevo suave, ligeiramente ondulado, depende sobretudo das condições climáticas e da rocha subjacente. A figura 9.1 mostra o efeito da erosão em relevo íngreme.

A tonalidade variável, de cinza médio a cinza escuro, pode chegar a cinza claro em áreas portadoras de granito, ou rocha sedimentar, onde o quartzo é abundante.

A textura em geral é lisa e constante em toda sua área.

A vegetação é essencialmente densa, com árvores de médio a grande porte, a depender das condições climáticas e da rocha subjacente.

Essas coberturas, onde estão implantadas agricultura e pecuária, são também portadoras de água subterrânea.



**Figura 9.1** - Aspectos da erosão e das formações superficiais em um relevo íngreme.

## Coberturas Transportadas

As coberturas transportadas, que formam extensas áreas, principalmente na região Nordeste do Brasil, são caracterizadas essencialmente por relevo plano, tonalidade cinza médio e textura predominantemente lisa e uniforme.

Essas coberturas que são em geral arenosas e ou areno-argilosas, desenvolve uma vegetação pouco densa, com árvores de pequeno a médio porte. Algumas áreas cultivadas são encontradas com frequência sobre essas coberturas.

## Depósitos Fluviais

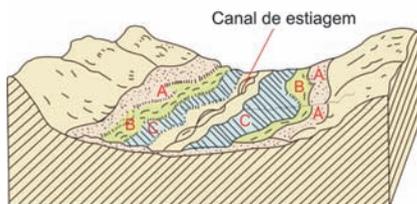
As aluviões são identificadas nas fotografias aéreas através da morfologia plana, tabular e também pela tonalidade cinza claro, em função da alta reflectância dos sedimentos.

Em alguns casos podem apresentar tonalidade cinza médio, devido a certa umidade, ou em função da quantidade de argila e matéria orgânica contida nesses depósitos.

Os terraços, os quais representam antigos leitos de rios, possuem também superfície plana tabular, tonalidade em geral cinza claro e frequentemente possuem pequenos ressaltos, figuras 9.2 e 9.3.

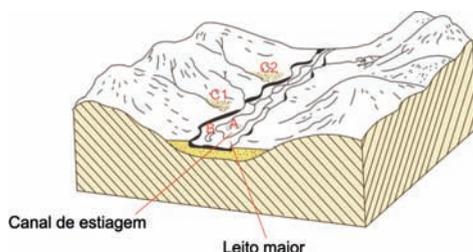
Pelas características topográficas, os depósitos fluviais favorecem o desenvolvimento de atividade agrícola e agropecuária.

Esses depósitos são ainda importantes aquíferos, principalmente na região do semi-árido, onde existe escassez de água.



**Figura 9.2** - Bloco diagrama mostrando dois níveis distintos de terraços (A) e (B). Em (C) observa-se o leito maior do rio que aparece colmatado de aluvião. Vergara (1971).

Os cones de dejeção são depósitos acumulados em região montanhosa, ocasionados por torrentes temporais. A identificação fotogeológica está fundamentada no princípio de que esses cones de dejeção estão sempre situados na desembocadura de uma drenagem e se espalham sobre uma superfície relativamente plana, estável. A tonalidade é cinza claro, por vezes branca, enquanto nos cones antigos os tons são mais escuros.



**Figura 9.3** - Bloco diagrama de depósitos fluviais, apresentando dois meandros abandonados, um conserva água (A) e o outro está seco (B). Nas encostas do vale se formam os cones de dejeção (C1) e (C2) na desembocadura dos afluentes. Vergara (1971).

## Coluviões/Talus

Os coluviões, que são depósitos formados nas encostas das serras, são identificados nas aerofotos por relevo forte, tonalidade em geral cinza médio e textura essencialmente lisa.

A superfície desses depósitos está mais ou menos adaptada a topografia local onde se encontra.

## Depósitos Litorâneos

Os depósitos litorâneos são aqueles provenientes do retrabalhamento de materiais costeiros através da ação das marés, rios e ventos. Entre esses depósitos, destacam-se as praias, dunas, cordões litorâneos e deltas.

As praias, que formam estreitas faixas ao longo da costa, possuem suaves pendentes para o mar e são assinaladas nas fotografias aéreas por tons claros a brancos.

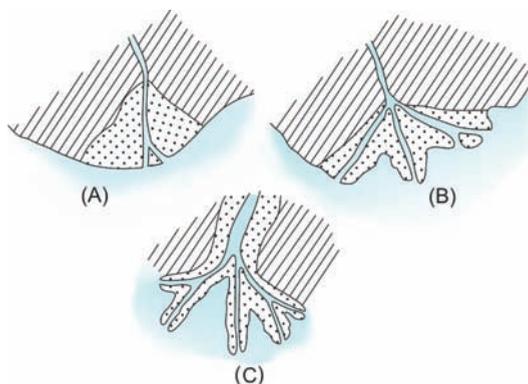
As dunas são identificadas nas aerofotos por sua forma peculiar, realçadas pelas sombras e ainda pela tonalidade clara.

Os cordões litorâneos ou restingas, que constituem franjas paralelas a linha de costa, possuem relevos planos, por vezes com suaves ondulações. Apresentam em geral uma série de estreitas faixas paralelas, com alternância de tons claros e escuros.

A vegetação geralmente é natural e alguns cultivos são encontrados localizadamente, de preferência nos cordões maiores.

Os depósitos de deltas (figura 9.4), que se formam nas desembocaduras dos rios, apresentam diferentes formas, que dependem de vários fatores, entre eles, a textura dos sedimentos transportados pelos rios e a intensidade das correntes costeiras existentes na zona de deposição.

Em função desse equilíbrio entre aporte de material e maré, os deltas são classificados em arredondados, lobulados e digitados. Apresentam topografia plana e possuem numerosos canais anastomóticos. A tonalidade é muito variada, desde os tons claros nas margens do delta, até tons escuros nas partes mais úmidas.



**Figura 9.4** - Formas de deltas: (A) arredondado; (B) lobulado e (C) digitado

## FOTOINTERPRETAÇÃO APLICADA À GEOLOGIA ECONÔMICA

A interpretação fotogeológica pode auxiliar muito na seleção de áreas para prospecção mineral.

Em muitas regiões, uma fotointerpretação preliminar pode fornecer dados suficientes sobre determinada mineralização, com destaque para os materiais e minerais industriais.

O estudo da correlação entre as mineralizações conhecidas, com seus respectivos ambientes geológicos, através da análise fotogeológica, pode facilmente indicar as áreas favoráveis para investigações detalhadas.

Não é correto tratar os jazimentos minerais isoladamente, como um fenômeno especial dentro do contexto geológico da região. As mineralizações estão associadas diretamente à geologia, relacionadas muitas vezes com a rocha encaixante e em outros casos é parte integrante da evolução orogênica. Portanto, é importante definir os controles litológicos e/ou estruturais das mineralizações, como também reconhecer a relação no tempo e no espaço com o desenvolvimento orogênico.

### **Características Fotogeológicas de Alguns Tipos de Jazimentos**

As feições geológicas relacionadas às mineralizações, na grande maioria, podem ser reconhecidas na fotogeologia tais como:

- falhamentos;
- rompimentos e deslocamentos em geral;
- dobramentos;
- cisalhamentos;
- estruturas transversais;
- limites geológicos;
- discordâncias;
- supracrustais (metassedimentos, metavulcânicas, carbonatos, etc);
- corpos intrusivos ácidos a intermediários;
- corpos ultrabásicos;
- lavas porosas;
- superfícies de erosão (paleorelevo);

- aspectos geomorfológicos recentes;
- sedimentos aluviais, coluviais e eluviais;
- condições climáticas.

Além disso, alguns tipos de jazimentos minerais apresentam características fotogeológicas bem definidas tabela 10.1.

**Tabela 10.1** - Características fotogeológicas de alguns tipos de jazidas

ALGUNS TIPOS DE JAZIDAS	CARACTERÍSTICAS FOTOGEOLOGÍCAS
Sulfetos	Vegetação em geral escassa ou ausente sobre a rocha mineralizada, no entanto, os fatores climáticos podem alterar a capa vegetal.
Filões (pegmatitos, veios de quartzo, etc.)	Presença de feições lineares, falhamentos e fraturamentos que controlam a mineralização. A drenagem pode estar condicionada.
Depósitos Sedimentares/ Metassedimentares	As características fotogeológicas dependem do tipo de seqüência sedimentar. A mineralização pode estar assinalada pela tonalidade, vegetação, drenagem ou relevo.
Depósitos de Metamorfismo de Contato	Formação de uma auréola adjacente à rocha intrusiva. As feições fotogeológicas vão depender do tipo de intrusão e da rocha encaixante.
Chaminés Diamantíferas	Depressões circulares, vegetação em geral escassa, drenagem centrípeta.
Depósitos de Meteorização / Supergênicos (bauxita, laterita, manganês)	Formam superfícies planas, tabuleiros, com tonalidade escura e vegetação abundante. Constituem capas residuais, as quais se fixam muitas vezes em antigas superfícies de erosão.
Jazimentos do Metamorfismo Regional	Como se trata de grandes áreas abrangendo diferentes ambientes geológicos e com distintas mineralizações, as características fotogeológicas também são as mais variadas. Existem poucos trabalhos na literatura sobre esses jazimentos.
Depósitos Aluvionares	As aluviões em geral mostram tonalidade clara, ou escura quando saturadas em água, e, pouca ou nenhuma vegetação. Meandros antigos ou paleodrenagens são áreas com tonalidades escuras e apresentam vegetação. A forma de meandro é peculiar.

## Aplicação à Pesquisa Mineral

Em pesquisa mineral, a interpretação de imagens de sensores remotos também é de grande valia, não só na elaboração do mapa geológico da área, mas sobretudo na busca e controle das mineralizações.

Com relação à pesquisa mineral, três casos básicos podem ser considerados:

1º - Escolha de áreas prospectáveis. A escolha de áreas prospectáveis para bens minerais através das fotografias aéreas, consiste em identificar nas mesmas, os agentes formadores e/ou concentradores das mineralizações. Ou seja, definir áreas potenciais através das imagens, a partir de intrusões, presença de diques, falhas, dobras e zonas de cisalhamento, partindo-se do princípio de que os jazimentos minerais estão geralmente relacionados a controles estruturais e/ou litológicos. Estas estruturas servem de condutos aos magmas carregados de minerais, bem como soluções fluidas que vão gerar as mineralizações.

2º - Áreas com o controle da mineralização conhecido. A utilização das fotografias aéreas nas áreas onde o controle da mineralização é conhecido, está na identificação de outros locais, com características semelhantes aos das mineralizações. Ou seja, se a mineralização estiver associada a algum tipo de falhamento, é procurar as feições idênticas nas fotos. São conhecidos muitos exemplos de falhas mineralizadas e sistemas de filões que foram mapeados com a ajuda de fotografias aéreas.

Com relação às dobras, a mineralização está nas charneiras, mas pode também se destacar para os limbos, com a evolução do dobramento.

As zonas de cisalhamento, por serem locais de fácil percolação de fluidos, são favoráveis a concentrações de minerais. As características de zonas de cisalhamento estão expostas no capítulo 5.

Os critérios estratigráficos são importantes na busca de depósitos sedimentares, singenéticos, que estejam associados com camadas sedimentares litologicamente favoráveis. Quando se sabe que um determinado mineral ocorre associado a um certo nível estratigráfico, as fotos podem ser utilizadas para determinar a extensão e ocorrência daquele nível.

Também nas mineralizações onde existem controle geomorfológico, as aerofotos podem contribuir consideravelmente na busca de parâmetros idênticos aos das concentrações minerais já conhecidas.

3º - Área mineralizada, cujo controle é desconhecido. Este caso acontece sobretudo em regiões afetadas tectonicamente, quer seja por fraturamento e/ou falhamento, ou mesmo por dobramento e cisalhamento. Sabe-se da existência da mineralização, porém o agente condicionante ainda é incerto. Neste caso, a análise feita com as fotografias aéreas poderá contribuir no sentido de definir o controle da mineralização.

O estudo cuidadoso das feições fotogeológicas, pode revelar algumas estruturas, muitas vezes difíceis ou impossíveis de serem observadas no campo. A análise de fraturas e falhas, realizada nas aerofotos, pode mostrar a presença de sistemas com direções preferenciais não detectadas anteriormente e que podem ser indicativos do controle da mineralização.

A fotografia aérea pode auxiliar ainda, no caso em que a mineralização esteja disseminada em uma camada e concentrada em zona de falha ou cisalhamento, algumas vezes difíceis de serem diagnosticadas no terreno.

## PROCEDIMENTOS FOTOGEOLÓGICOS

- 1 - Escolher as fotos mais convenientes a serem interpretadas, se as pares ou as ímpares.
- 2 - Colocar o overlay nas fotos escolhidas para interpretação e traçar o centro das mesmas.
- 3 - Traçar as principais drenagens.
- 4 - Traçar todas as lineações em feixe (regionais), preferencialmente às positivas, com traços finos e leves.
- 5 - Traçar as lineações em série (oblíquas ou perpendiculares às lineações regionais).
- 6 - Traçar as atitudes das camadas com base na assimetria do relevo.
- 7 - Observar a densidade de elementos texturais e estruturais (textura), grau de tropia, tonalidade e vegetação se necessário.
- 8 - Definir as zonas homólogas (colocar os contatos), conforme os critérios estabelecidos acima, e caracterizá-las segundo os conceitos de:
  - densidade de elementos texturais e estruturais (alta-A, moderada-M, baixa-B e nula-N);
  - tipos de encostas (convexa, reta, côncava e horizontal);
  - intensidade de encostas (alta-A, média-M, baixa-B, nula-N);
  - grau de tropia (nula-N, baixa-B, moderada-M, e alta-A);
  - assimetria do relevo (simétrico-S e assimétrico-A);
  - densidade de lineação em série (alta-A, moderada-M, baixa-B e nula-N);
  - tonalidade (alta-A, moderada-M, baixa-B e nula-N).
- 9 - Entre as lineações em série e em feixe, identificar às que são fraturas e às que são falhas.
  - Colocar os eixos das dobras.
  - Estabelecer a coluna estratigráfica no caso de área sedimentar.
  - Quando da existência de corpo plutônico, observar as relações de contato com a encaixante, como também o grau de tropia, para caracterizá-lo quanto a época de sua colocação/intrusão.
- 10 - Plotar nas fotografias aéreas as ocorrências minerais.

11 - Elaborar o Relatório da fotointerpretação. Descrever cada unidade fotogeológica com seu significado geológico (litologias que compõem):

- a) escrever as feições geomorfológicas;
- b) os aspectos estruturais;
- c) os corpos plutônicos e
- d) as formações superficiais.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALLUM, J. A. E. Photogeology and Regional Mapping. London: Persamon, 1966. 107 p.
- ARCANJO, J. B. A. Relatório sobre o curso de fotointerpretação de imagens LANDSAT. Salvador: CPRM, 1977. 10 p. Relatório interno.
- ARCANJO, J. B. A. Anotações do curso sobre fotointerpretação ministrado pelo Prof. Paulo Cesar Soares. Atibaia, S.P., 1991. Salvador: CPRM, 1991. Relatório interno.
- ARCANJO, J. B. A.; BARBOSA, J. S. F.; SILVA, F. C. A. da. O Sensoriamento remoto como técnica auxiliar nos estudos geológicos da região de alto grau metamórfico de Ipiáú-Bahia. Boletim IG-USP. Série Científica, v.27, p. 99-118, 1996.
- BANDAT, H. F. von. Aerogeology. Huston: Guls Publishing, 1962, 350 p. il.
- BARBOSA, M. N.; CUNHA, R. P. Sensoriamento remoto, a terra vista do espaço. R. Brás. Tecnol., Brasília, v. 18. 4, p. 39-46, 1987.
- BENEVIDES, S. T. Introduccion a la fotointerpretacion en estudios del terreno y aplicaciones en investigaciones hidrogeológicas. Revista CIAF, v.3, n.1 p. 105-138, 1976.
- BRAUN, O. P. G. Aspectos geomorfológicos que afetam a interpretação de imagens de sensores remotos no Brasil. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., 1982., Brasília. Anais...Brasília: INPE, 1982. v.1. p. 25-38.
- BROWDEN, L. W.; PRUIT, E. L. (Eds) Manual of remote sensing interpretation and applications, Falls Church, Virginia: America Society of Photogrammetry, 1975.
- CASTELO BRANCO, R. M. G., SVISERO, D. Análise de estruturas anelares da região Sul do Estado do Piauí por meio de produtos de sensoriamento remoto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34, 1986, Goiania. Anais Goiania: SBG, v. 6. p. 2973-2983.
- COLWELL, R. N. et al. Basic matter and energy relationsphis involved in remote reconnaissance. Photogrametric Engeneering, v. 29, n. 5, p. 761-799, 1963.
- DRURY, S. A. Image interpretation in geology. London, Allen & Unwin, 1987. 237p.
- ES, E. von. El uso de Fotografias aéreas yacimientos econômicos. Bogotá: CIAF, 1972. 29 p.
- FAGUNDES FILHO, E.S. Análise integrada dos produtos de sensoriamento remoto em levantamentos geologicos básicos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. 1984, Rio de Janeiro. Anais... Rio de Janeiro: SBG, 1984. v.5. p.2.465-2.472.
- FERREIRA, A. C., ALMEIDA, T. I. R. Tectônica transcorrente e imagens TM-Landsat aplicadas à prospecção de fluorita e barita em Santa Catarina. Revista Brasileira Geociências, v.19, n. 2, p. 207-223, 1989.

- GERASIMOV, I. P.; MESCHERIKOV, J. A. Morphostructure. In: FAIRBRIDGE, R. W. (ed.) *The Encyclopedic of geomorphology*. New York: Reinhold. Book Co., 1968. p. 731-732. (Encyclopedia of Earth Sciences Series, 3).
- GREENWOOD, J. E. G. W. Rock weathering in relation to the interpretation of igneous and metamorphic rocks in arid regions. *Archives Internationales de Photogrammetries*. v. 14, p. 93-99, 1962.
- GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da C. (Org.) *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1994. 458 p.
- GUY, H. Quelques principes et quelques experiences sur la methodologie de la photo-interpretation. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHOTO-INTERPRETATION, 2, 1966, Paris. Acte... Paris: [s.n.], 1966 p.21-41.
- HASUI, Y., COSTA, J. B. S. Zonas e Cinturões de Cisalhamento. Belém: UFPA., 1991. 144 p. il.
- HOWARD, A. D. Drainage analysis in geologic interpretation: summation. *Bulletin American Association of Petroleum Geologists*, Tulsa, v. 51, n.11, p. 2246-2259, 1967.
- LEMONS, J. C. Uso de sensoriamento remoto na prospecção mineral. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2, 1979. Gravatal. Anais ...Gravatal, SC: DNPM, 1979. p. 347-349.
- LIMA, M. I. C. de. Modelos radiográficos de estruturas circulares na região amazônica. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2, 1979, Gravatal. Anais ...Gravatal, SC. DNPM, 1979. p. 319-329.
- LIMA, M. I. C. de. Curso Introdução à Interpretação Radargeológica. Salvador: IBGE, 1987. Paginação irregular.
- LIMA, M. I. C. de. Identificação de redobramentos em imagens de radar (SLAR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS APLICADAS A GEOLOGIA, 4., 1984, Salvador. Anais ... Salvador: DNPM, 1984. p. 215-230.
- LIMA, M. I. C. de. Aplicabilidade de radares de visada lateral na pesquisa geológica da Amazônia Brasileira: GEMS sersus SIR-A. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33, 1984, Rio de Janeiro. Anais ... Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 5. p. 2.527-2.536.
- LOCZY, L., LADEIRA, E.A. Geologia estrutural e introdução à geotectônica. São Paulo: Edgard Blucher, 1976. 528 p.il.
- LUI, C. C., VITORELLO, I., MENESES, P. R. Alguns aspectos das informações geológicas contidas em imagens Landsat. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31, 1980. Camboriu. Anais ... Florianópolis: SBG, 1980. v. 5. p. 2.929 -2.942.
- MEKEL, J. E. M. The use of aerial photographs in geological mapping. In: INTER-

- NATIONAL INSTITUTE FOR AERIAL SURVEY AND EARTH SCIENCES--ITC. ITC TEXTBOOK OF PHOTO-INTERPRETATION; USE OF AERIAL PHOTOGRAPHS IN GEOLOGY AND ENGINEERING. APLICACION DE FOTOGRAFIAS AEREAS EN GEOLOGIA Y INGENIERIA. DLFT, 1970. v. 8. cap. 8.1.
- MENEZES, P. R. Sensoriamento remoto como técnica de prospecção mineral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS APLICADAS A GEOLOGIA, 4., 1984, Salvador. Anais ... Salvador: DNPM, 1984. p. 231-249.
- MENEZES, P. R. Avaliação e seleção de bandas do sensor "Thematic Mapper" do Landsat-5 para a discriminação de rochas carbonáticas do Grupo Bambuí como subsídio ao mapeamento semidetalhe. 1986. 232 f. il. Tese (Doutoramento Geologia Geral)-Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 1986. 232p. il.
- MENEZES, P. R., HELLO, A. F., SANO, E. E. Integração de dados de Sensoriamento remoto para a pesquisa hidrogeológica em áreas cársticas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. Anais ... Natal: SBG-Núcleo-Nordeste, 1990. v. 2. p.1011-1018.
- NOVAES, R. A., MARTINI, P. R. Perspectivas em Sensoriamento remoto no Brasil: 1982-1986. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, 1982. Anais...:Brasília: INPE, 1982. v. 3.
- NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento remoto; princípios e aplicações. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 308 p. II.
- PARADELLA, W. R. Discriminação de unidades litológicas no Baixo Vale do Rio Curaçá (Bahia), através de realces por processamento digital de dados MSS-Landsat 3. Tese (Doutoramento Geologia Geral)- Instituto de Geociências Universidade de São Paulo-USP São Paulo, 1983.
- PARADELLA, W. R. O significado litológico da informação espectral e temporal (sazonal) de: dados digitais MSS do Satélite: Landsat-3 para o baixo vale: do Rio Curaçá, Bahia. Revista Brasileira de Geociências, v. 16, n. 2, p. 135-148, 1986.
- PARADELLA, W. R. Avaliação preliminar de dados TM-Landsat 5 para exploração mineral na região amazônica: intrusivas de Maraconi e Maicuru (Pará). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., 1986. Goiânia. Anais ... Goiânia: SBG, 1986. v. 6. p. 2951-2964.
- PARADELLA, W. R., MENEZES, P. R., MATOSO, S. interpretações automáticas de dados do LANDSAT na pesquisa de ilmenita de: Floresta, Pernambuco. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2, 1979, Gravatal. Anais ...Gravatal: DNPM, 1979. p. 307-318.
- PARADELLA, W. R., DUTRA, L.V. Filtragens digitais de imagens Landsat como técnica de: auxílio visual na fotointerpretação geológica. In: CONGRESSO

- BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980. Camboriú. Anais ... Florianópolis: SBG, 1980. v. 5. p. 2959-2964.
- PARADELLA, W. R., VITORELLO, I. Sensores remotos na geologia: tendência atual e perspectivas futuras com dados de satélites. Ciências da Terra, n. 5, p. 19-23, 1982.
- PARK, R.G. Foundations of structural geology. New York: Blackie, 1983. 135 p. il. color.
- PEDREIRA, A. J. Fotogeologia; curso básico para geólogos da CPRM. Salvador: CPRM, 1986. 149 p. 26 estampas. Inédito.
- RICCI, M., PETRI, S. Princípios de aereootogrametria e interpretação geológica. São Paulo: Nacional, 1965. 226 p. il. fotos.
- RIVERAU, J. C. Notas de aula do curso de fotointerpretação. In: SEMANA DE ESTUDOS SICEG. 12, 1972. OURO PRETO. Ouro Preto; 1972.
- ROMERO, R. Elementos geológicos y geomorfológicos. Bogotá: CIAF, 1971. 62 p.
- ROUTIN, D. D. Sensores remotos y principios de percepcion remota. Bogotá: CIAF. 1975. 157p.
- SANO, E. E., PARADELLA, W. R., LEITE, C. M. M. et al. Contribuição a prospecção mineral regional de depósitos de ferro da porção Norte do Estado da Bahia através de Imagens digitais do TM Landsat 5. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35, 1988, Belém. Anais ... Belém: SBG, 1988. v. 6. p. 2383-2388.
- SCHUCK, M. T. G. O., LISBOA, N. A., HAERTEL, V. et al. Estudo morfotectônico e estrutural de um segmento da bacia do Rio Uruguai, R.S., através de técnicas de sensoriamento remoto. Acta Geológico Leopoldensia, v. 13, n. 30, p. 229-242, 1990.
- SOARES FILHO, B. C. Metodologia utilizada na cartografia geológica por imagens de satélite da Serra do Espinhaço e adjacências, região de Espinosa, M.G. In: SIMPÓSIO GEOLOGIA NÚCLEO MINAS GERAIS, 5., SIMPÓSIO GEOLOGIA NÚCLEO BRASÍLIA, 1., 1989, Belo Horizonte. Anais do ... Belo Horizonte: SBG, 1989. p.166-170.
- SOARES, P. C., FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia. Not. Geomorfol., Campinas. v.16. n.32, p.71-104, 1976.
- SOARES, P. C., BARCELLOS, P. E., CSORDAS, S. M. et al. Lineamentos em imagens de Landsat e Radar e suas aplicações no conhecimento tectônico da Bacia do Paraná. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., 1982, Brasília. Anais ...Brasília: INPE, 1982. v. 1. p. 143-153.
- SULTAN, M., ARVIDSON, R.E., STURCHID, N.C. Lithologic mapping in arid regions with Landsat thematic mapper data: Meatiq dome, Egypt. Geological Society. of America Bulletin, v. 99, n. 12, p.748-762, 1987.
- VALENTE, C., VENEZIANI, P. Uso da tecnologia de sensoriamento para estudos estruturais e de prospecção mineral. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

- GEOLOGIA, 36., 1990, Natal. Anais ... Natal: SBG-Núcleo NE, 1990. v. 3. p. 1.517-1.527
- VENGEOCHEA, F. Manual de Fotointerpretacion Geomorfológica. | Bogotá: Inst. Geográfico Agustin Codazzi, 1966. 131 p. il.
- VERGARA, M. L. L. Manual de Fotogeologia. Madrid: J.E.N., 1971. 286 p. il. Texto e lâminas.
- VITORELLO, I. Sensoriamento remoto de recursos minerais e energéticos na década de oitenta. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2, 1982. Brasília. Anais ...Brasília: INPE, 1982. v. 1. p. 83-90.



# **APÊNDICE 1**

Coletânea de Fotos Interpretadas

As interpretações fotogeológicas aqui apresentadas, foram extraídas de projetos de mapeamento geológico executados pela CPRM, durante a época em que o autor atuou como coordenador regional de sensoriamento remoto da SUREG SA. Contemplam interpretações que vão desde as formações recentes, até os terrenos metamórficos de baixo, médio e alto grau. Com idades compreendidas entre o Quaternário e o Arqueano, inclui diversos ambientes geotectônicos tais como: formações superficiais, cobertura cratônica dobrada e não dobrada, faixa dobrada, greenstone belt e áreas do cráton do São Francisco. Trata-se de alguns modelos didáticos, com falhamentos, dobramentos e zonas de cisalhamento e, outros, com possíveis soluções de problemas geológicos, muitas vezes situados em locais inacessíveis.

#### Considerações relevantes sobre as fotointerpretações

A foto 1 ressalta a forma das dunas com o sentido dos ventos. Fotolineações na parte sudoeste da foto assinala o desenvolvimento de terraço marinho.

A foto 2 assinala o truncamento de fotolineações que marcam as pretéritas linhas de costa.

A foto 3 realça a tonalidade cinza clara da Formação Motuca, sudeste da foto, que caracteriza alta reflectância dos sedimentos e consequentemente ausência ou rara vegetação. Essa tonalidade clara não implica em rocha branca, até porque esses sedimentos são vermelhos arroxeados.

A foto 4 realça a estrutura circular estabelecida pelas fotolineações. Outra feição de destaque é a tonalidade cinza clara da Formação Motuca na parte leste da foto, que indica alta reflectância dos sedimentos.

A foto 5 destaca o grau de fraturamento da rocha, que sugere alta ruptibilidade e ainda os planos de estratificação que acompanham as curvas de nível, que indicam a posição horizontal das camadas.

A foto 6 mostra o grau de fraturamento do metarenito e de fotolineações, estas, tanto acompanham a curva de nível, como constituem estruturas circulares, que sugerem posição horizontal das camadas.

A foto 7 assinala pequenas pontuações escuras na Formação Salitre, algumas vezes alinhadas, ou concentradas em certos setores, que caracterizam erosão cárstica (dolinas).

A foto 8 chama atenção o arrasto observado pela inflexão dos alinhamentos estruturais que sugere a rampa lateral nos calcários do Grupo Una.

A foto 9 ressalta as falhas contracionais cuja convexidade estabelecida pelos metassedimentos, indicam o sentido do transporte. Observa-se ainda imbricações tectônicas na rampa frontal, com grande densidade de fotolineações.

A foto 10 destaca a geometria das fotolineações, que delineiam empurrões, transcorrências e redobramentos.

A foto 11 é um bom exemplo de acomodação de camadas sobrepostas, através de sucessivas escamas de empurrão. Nesse processo de organização, algumas camadas se tangenciam, enquanto outras mostram-se truncadas.

A foto 12 assinala a geometria estabelecida pelas fotolineações que configuram uma dobra revirada com redobramento.

A foto 13 chama atenção para lineamentos retilíneos, que assinalam falhamentos longitudinais.

A foto 14 ressalta a densidade de fotolineações nos metassedimentos do Grupo Rio Preto, caracterizando a presença de xistos e filitos. Observa-se ainda o registro de lineamentos contínuos, longitudinais, que sugerem falhas contracionais/transcorrentes.

A foto 15 mostra a geometria das fotolineações na serra do Estreito, com indicação de falhas transcorrentes sinistrais que limitam a respectiva serra.

A foto 16 destaca a densidade de fotolineações nos metassedimentos do Grupo Rio Preto, que estão empurrados sobre o domo de Mansidão. Observar o contraste dessas feições dos metassedimentos com o domo, este, com discretas fotolineações.

A foto 17 assinala a complexidade de fotolineações que circundam os domos de Periperi e Mansidão. Observa-se a densidade de fotolineações associadas à zonas de cisalhamento.

A foto 18 chama atenção a densidade de fotolineações que circundam o domo de Mocambo. As zonas de cisalhamento estão assinaladas pela maior concentração de fotolineações em uma estreita faixa de rochas.

A foto 19 ressalta a quantidade de cultivo sobre os granitóides, transmitindo uma tonalidade cinza clara, em contraste com corpos básicos que mostram cores mais escuras. Observa-se ainda com nitidez a falha transcorrente sinistral, que limita os metassedimentos/metavulcânicas dos granitóides no setor noroeste da foto.

A foto 20 destaca o redobramento delineado pela crista de quartzito com forte estruturação das fotolineações. Alinhamentos estruturais contidos nos granulitos encaixantes, também confirmam o redobramento tipo laço.

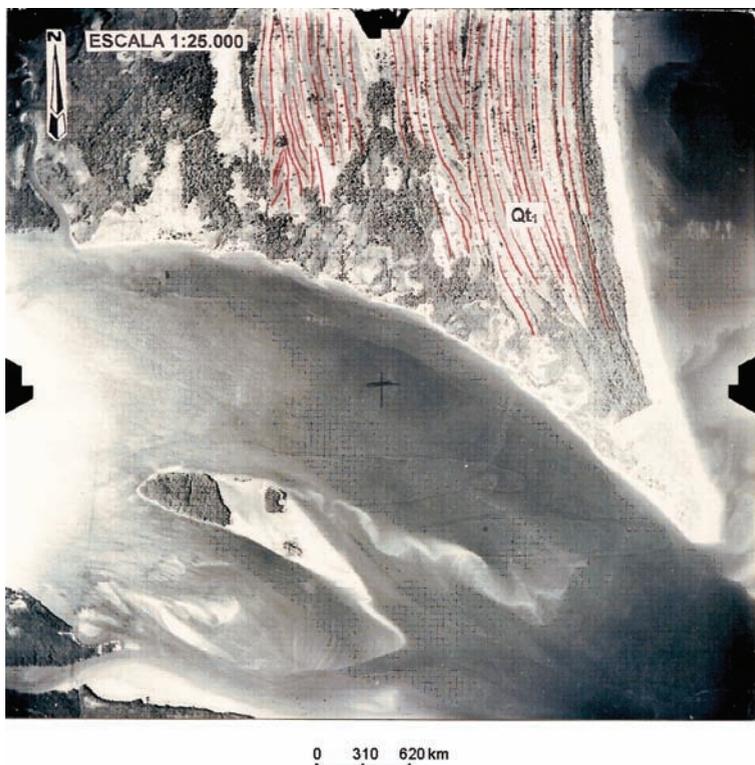
A foto 21 assinala uma anomalia de drenagem na parte noroeste da foto, com média densidade, bem estruturada e com disposição em forma de abacate. Apresenta estrutura de relevo com média densidade de elementos texturais e mediamente estruturada. A foto mostra ainda corredores de cisalhamento com maior concentração de fotolineações e lineamentos estruturais sugerindo falhas longitudinais, provavelmente transcorrências. Observa-se também concentrações de finas camadas caracterizadas por seqüências metassedimentares/metavulcânicas embutidas tectonicamente nos granulitos.

A foto 22 exhibe o efeito produzido pela falha extensional no sill de rocha ultrabásica, estruturado na forma de sinclinal revirado. Em função do nível de erosão, no bloco baixo (B) os flancos do sill estão mais espaçados, enquanto no bloco alto (A) estão mais próximos.

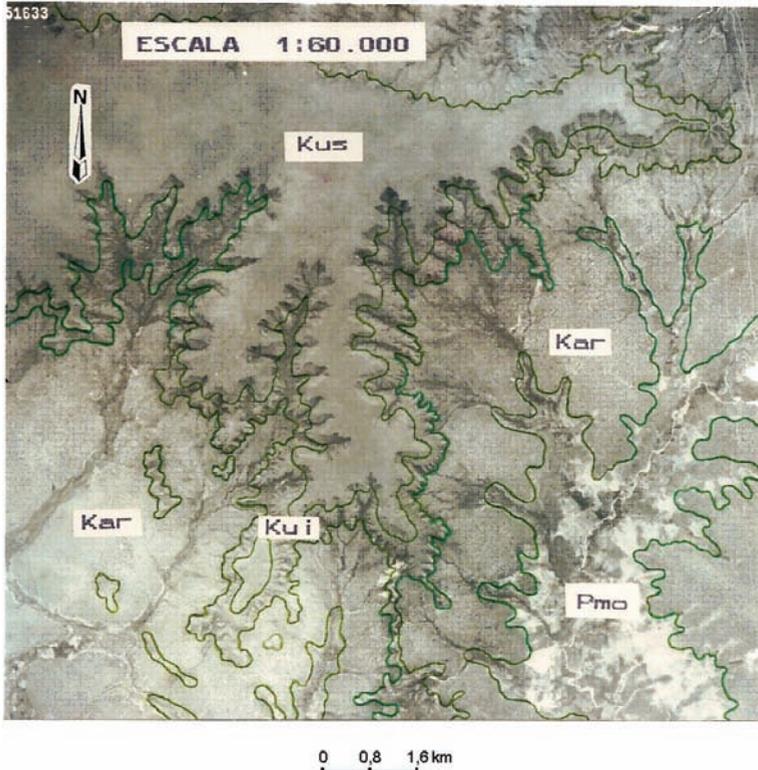


**Foto 1** - A fotografia aérea exposta acima apresenta as formações superficiais na região de Mangue Seco, Estado da Bahia.

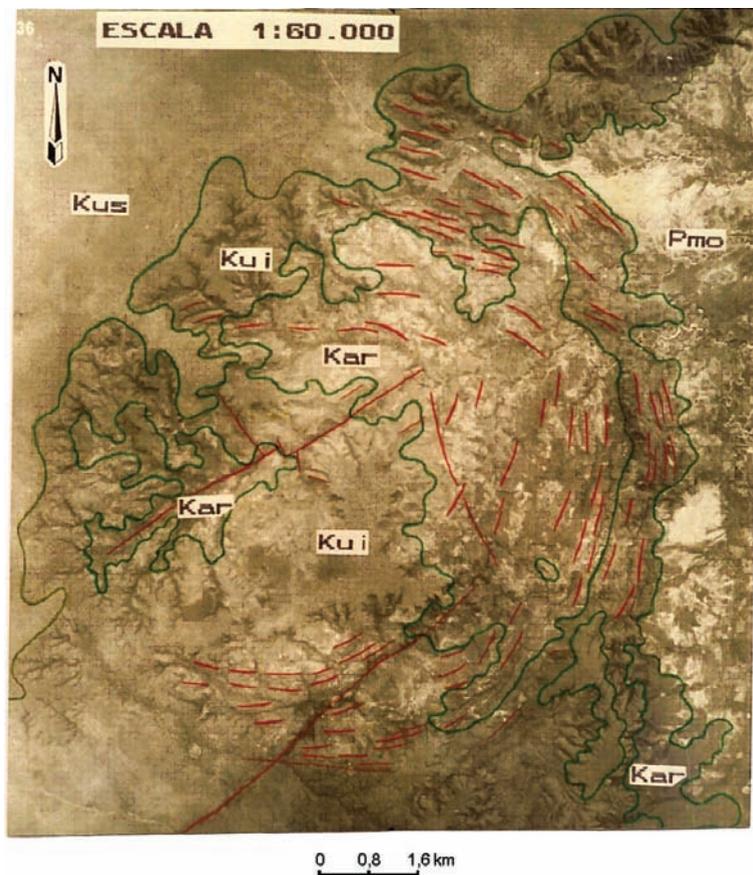
As feições fotogeológicas de cada unidade estão bem marcadas nesta aerofoto, com destaque para a tonalidade clara das dunas. A presença de fotolineações na parte sudoeste caracteriza o desenvolvimento de terraço marinho.



**Foto 2** - A fotografia aérea, que representa parte da ilha de Tinharé no Estado da Bahia, mostra o desenvolvimento de cordões litorâneos (Qt1), caracterizados por suaves lineações, vegetação arbustiva quase sempre orientada e relevo composto por discretas cristas que marcam as pretéritas linhas de costa.

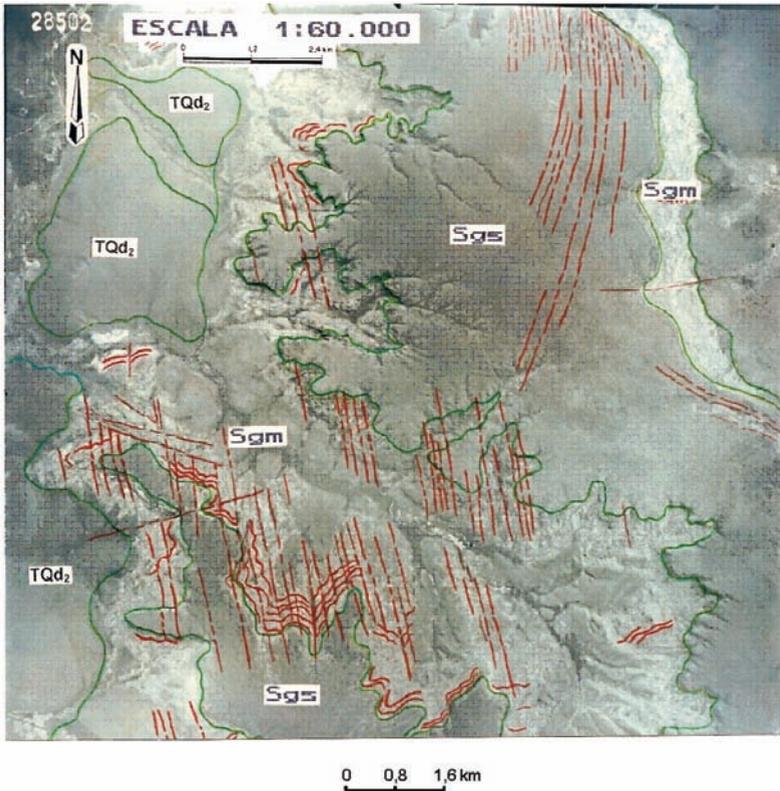


**Foto 3** - A fotografia aérea, que focaliza a região sul do Piauí, apresenta os aspectos de relevo, drenagem e tonalidade das formações Motuca, Areado e Urucuia. A Formação Motuca (Pmo), estabelecida na parte sudeste da foto, está realçada sobretudo pela tonalidade clara, além da drenagem dendrítica densa. A Formação Areado (Kar), composta essencialmente por arenitos, constitui suaves platôs com grande persistência na tonalidade cinza. A Formação Urucuia está assinalada por expressivo tabuleiro, sendo individualizado um nível inferior, com intenso ravinamento e um superior, menos ravinado, sugerindo rochas com alta resistência aos fenômenos intempéricos.



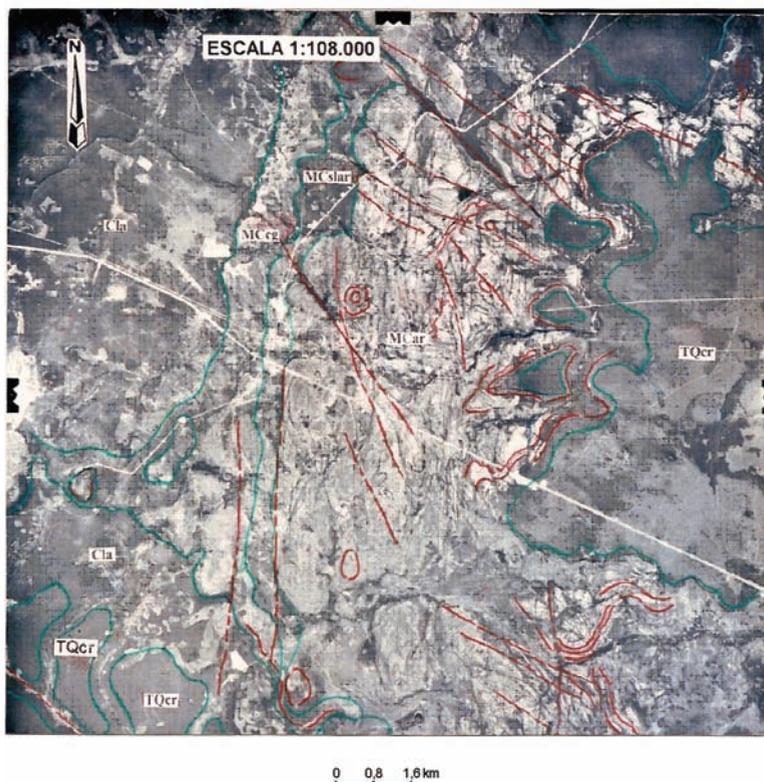
**Foto 4** - A estrutura circular exposta acima, localizada no extremo sul do Piauí, está implantada nos sedimentos cretáceos das formações Areado e Urucuia.

**Pmo** - siltitos e arenitos da Formação Motuca; **Kar** - arenitos da Formação Areado; **Kui** (unidade inferior da Formação Urucuia) - arenitos estratificados, localmente silicificados.



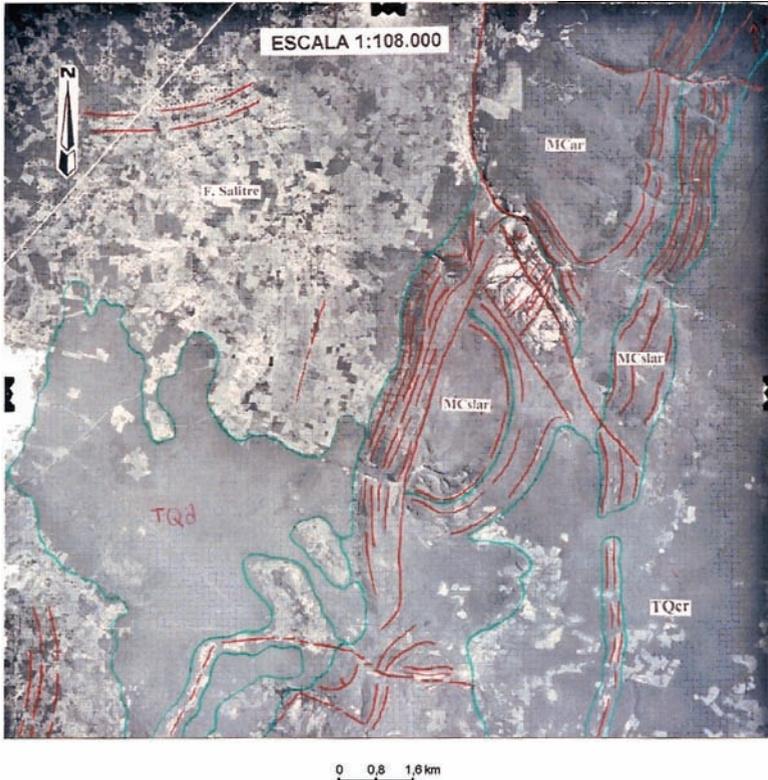
**Foto 5** - Aerofoto exibindo o Grupo Serra Grande no sul do Piauí. Chapadões constituídos por arenitos do Grupo Serra Grande assinalam a presença desses sedimentos, identificados também pela existência de estratificação plano paralela bem definida nesta aerofoto. O nível superior (Sgs), representado por superfície plana e uniforme tons de cinza, constitui um chapadão limitado por abruptas escarpas. Já o nível intermediário, além de apresentar tons de cinza mais claros, expressa grande quantidade de lajedos, intenso fraturamento e abundante estratificação plano-paralela. O nível inferior não consta na foto.

**TQd2** - cobertura areno-argilosa. **Sgs** - nível superior do Grupo Serra Grande. **Sgm** - nível intermediário do Grupo Serra Grande.



**Foto 6** - Metarenitos da Formação Morro do Chapéu na cidade de igual denominação, região central do Estado da Bahia. Os metarenitos que constituem um chapadão com imensos lajedos, exibem inúmeras fraturas e tons de cinza-claro. A presença de algumas estruturas aproximadamente circulares desenvolvidas no domínio desses metarenitos, são indicativas de camadas horizontalizadas.

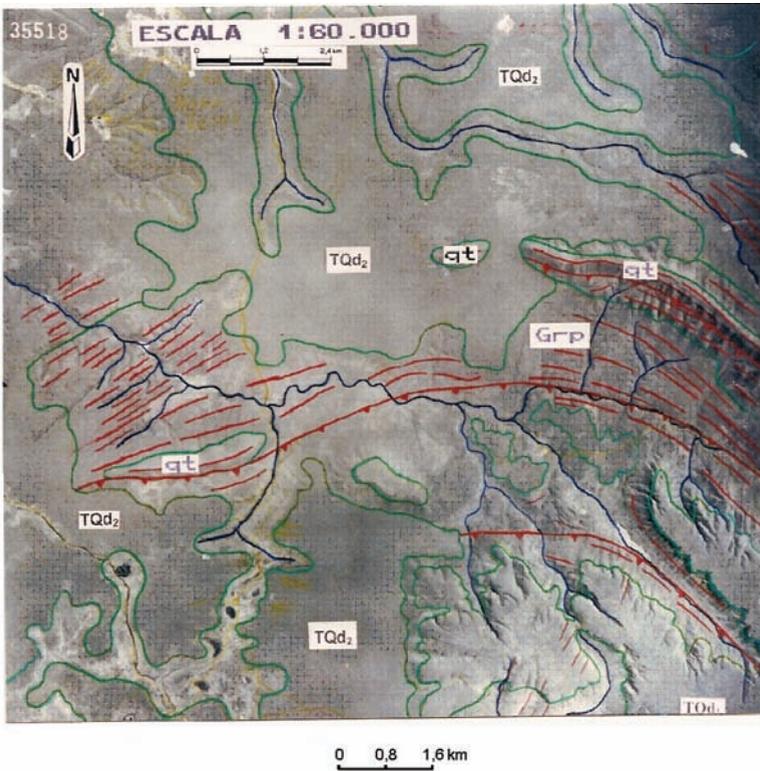
**TQcr** - cobertura residual; **MCar** - metarenitos da Formação Morro do Chapéu; **MCcg** - metaconglomerados da Formação Morro do Chapéu; **MCslar** - metassiltitos e metarenitos da Formação Morro do Chapéu; **Cla** - metassiltitos e metargilitos da Formação Caboclo.



**Foto 7** - Fotografia aérea localizada na parte central do Estado da Bahia, compreendendo a leste o Grupo Chapada Diamantina e a oeste o Grupo Una. Observa-se certa complexidade na geometria estabelecida pelas camadas do Grupo Chapada Diamantina, as quais estão envolvidas tectonicamente através de falhamentos e dobramentos. A Formação Morro do Chapéu, representada por metarenitos (MCar) e seqüências de metassiltitos com metarenitos (MCslar), está caracterizada por relevo movimentado, constituído por suaves cristas, onde o “dip slope” mostra-se bem evidente. A Formação Salitre (calcários), na parte leste da foto, está definida não só pela densidade de cultivo mas, sobretudo pela erosão cárstica (dolinas), identificada pela concentração de pontuações em determinados setores. **TQcr** - cobertura residual; **TQd** - cobertura areno-argilosa; **F. Salitre** - calcários da Formação Salitre; **MCar** - metarenitos da Formação Morro do Chapéu; **MCslar** - conjunto de metarenitos e metassiltitos intercalados.

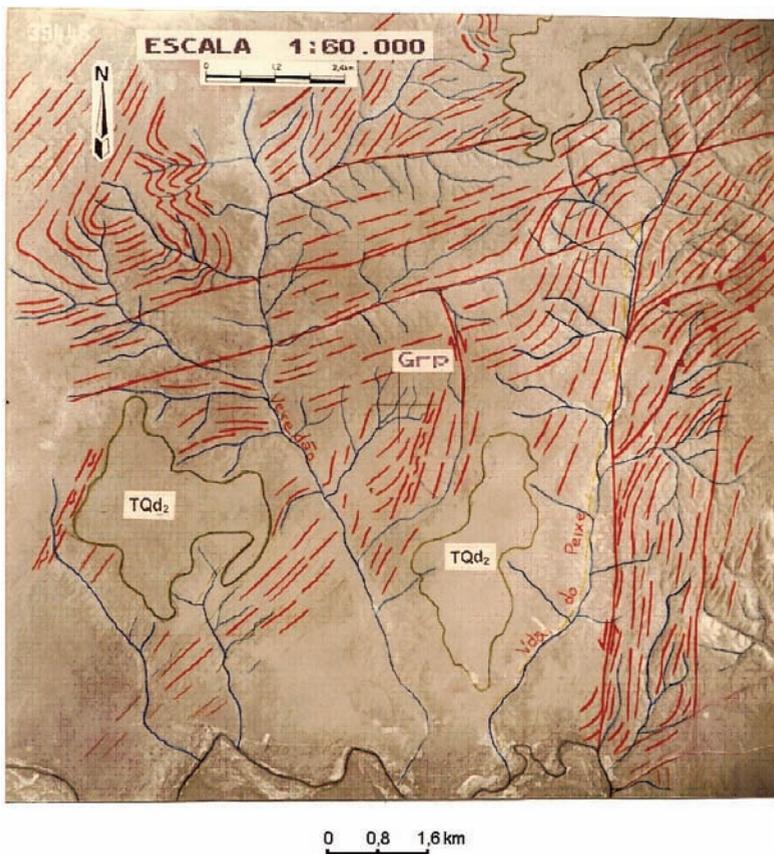


**Foto 8** - Fotografia aérea da parte central do Estado da Bahia, a qual assinala a rampa lateral contida nos calcários do Grupo Una (Gu). A foto mostra grande descontinuidade na falha transcorrente sinistral, que limita o bloco leste com camadas horizontalizadas e relevo tabular, do bloco oeste, que possui rochas projetadas na direção E-W e com mergulhos de moderados a fortes.

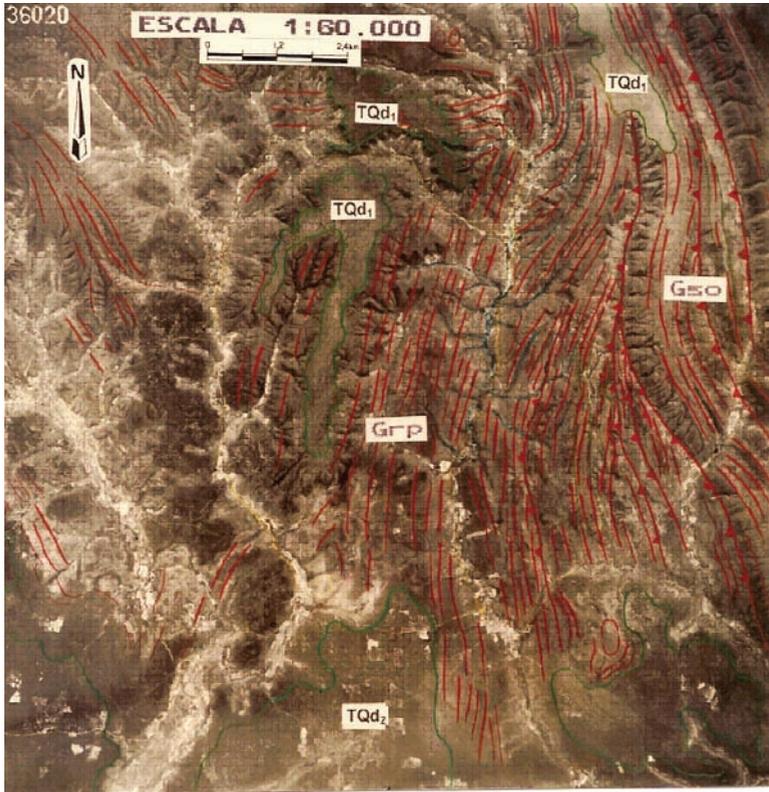


**Foto 9** - A aerofoto, que exhibe os metassedimentos do Grupo Rio Preto a sul do Piauí, mostra os conjuntos litológicos imbricados tectonicamente na rampa frontal, com vergência das camadas para norte. A concavidade estabelecida pelos metassedimentos sugere o sentido do empurrão de sul para norte.

**TQd<sub>2</sub>** - cobertura areno-argilosa. **Grp** - filitos e xistos do Grupo Rio Preto e **qt** - quartzitos do Grupo Rio Preto.

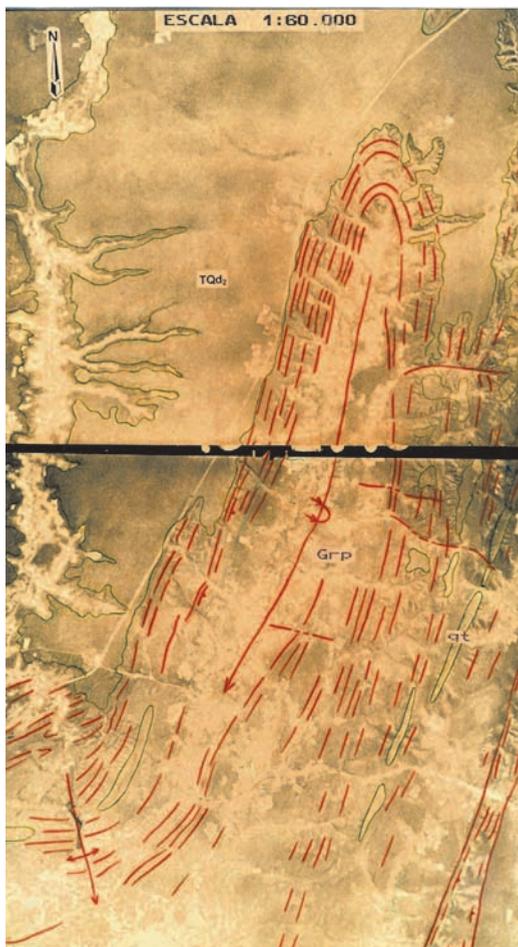


**Foto 10** - A fotografia aérea exposta acima, que apresenta a complexidade estrutural dos metassedimentos do Grupo Rio Preto, está assinalada pela geometria das fotolineações que delineiam empurrões, transcorrências e dobramentos. **TQd<sub>2</sub>** - cobertura areno-argilosa. **Grp** - filitos e xistos do Grupo Rio Preto.



**Foto 11** - Fotografia aérea exibindo em sua maior parte os metassedimentos mesoproterozóicos do Grupo Rio Preto na serra da Tabatinga (Ba). Observa-se a presença de sucessivas escamas de empurrão com freqüentes interrupções de camadas litológicas, as quais se tangenciam através de acomodações tectônicas. Essas camadas, que possuem caimento para oeste, conseqüentemente vergência para leste, indicam o sentido do esforço de oeste para leste.

**TQd2** - cobertura areno-argilosa; **TQD1** - cobertura areno-argilosa, relacionada à superfície de desnudação da serra da Tabatinga; **Grp** - Grupo Rio Preto (filitos, xistos e quartzitos); **Gso** - Grupo Santo Onofre (quartzitos e filitos subordinados).



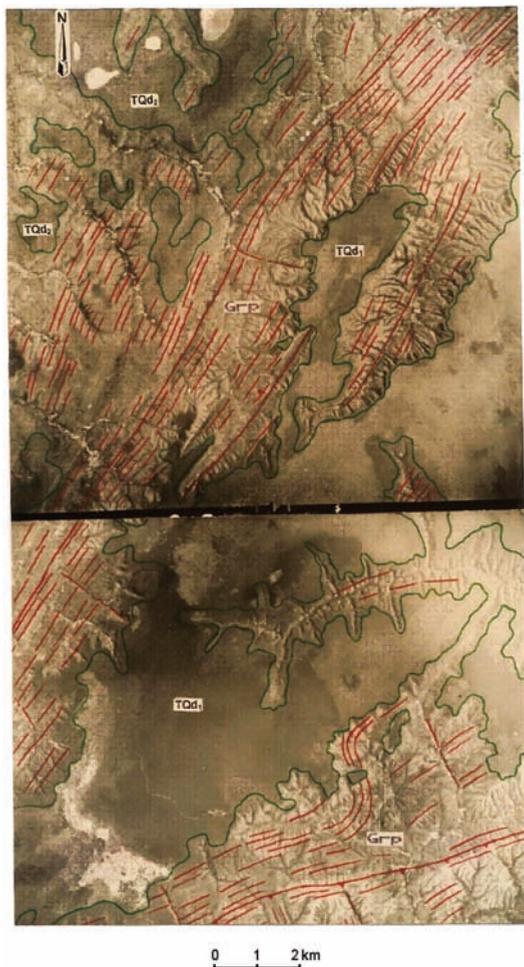
**Foto 12** - O par fotográfico mostra uma dobra revirada implantada nos metassedimentos do Grupo Rio Preto noroeste da Bahia.

**TQd2** - cobertura areno-argilosa. **Grp** - filitos, xistos e quartzitos(qt) do Grupo Rio Preto.



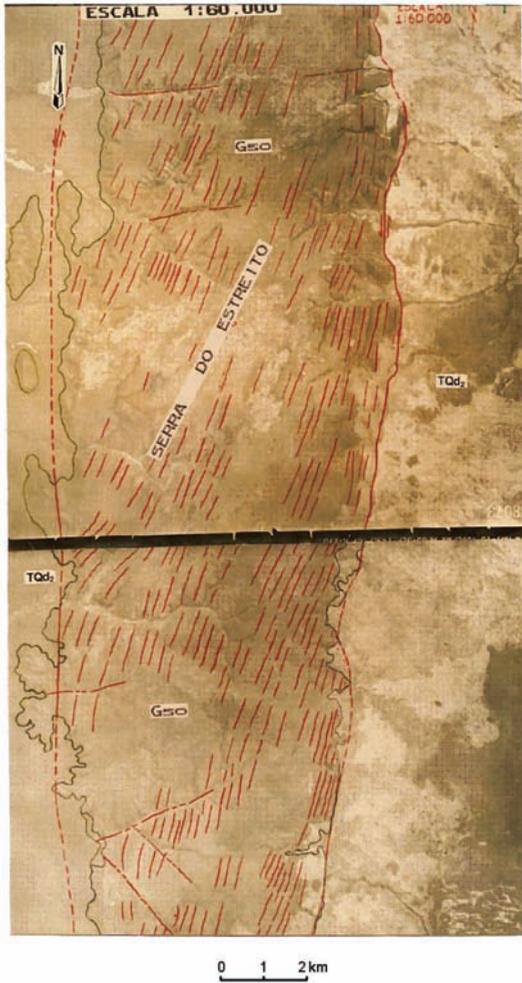
**Foto 13** - O par fotográfico, que apresenta os metassedimentos do Grupo Rio Preto limitados em grande parte por extensos falhamentos, mostra ainda dobramentos e as relações de contato com os gnaisses bandados(gnb) do Complexo Gnáissico-Migmatítico.

**TQd1** - cobertura areno-argilosa, relacionada à superfície de desnudação da serra da Tabatinga. **TQd2** - cobertura areno-argilosa. **TQcr** - cobertura residual. **Grp** - filitos e xistos do Grupo Rio Preto. **Gnb** - gnaisses bandados do Complexo Gnáissico-Migmatítico



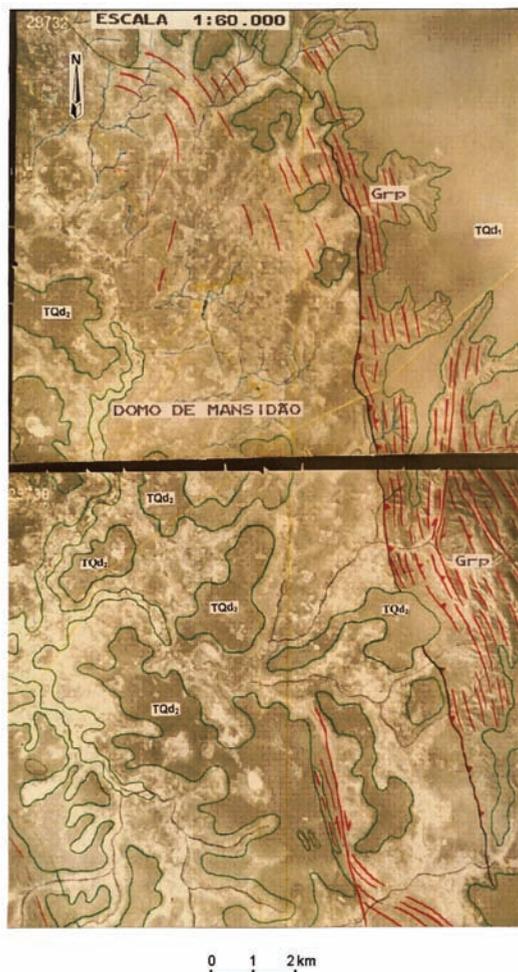
**Foto 14** - O par fotográfico exhibe aspectos estruturais dos metassedimentos do Grupo Rio Preto na serra da Tabatinga, Ba. O registro de freqüentes descontinuidades longitudinais nesses metassedimentos, sugere falhas de empurrão e transcorrência, compatíveis com o regime compressivo submetido aos mesmos.

**TQd1** - cobertura areno-argilosa, relacionada à superfície de desnudação da serra da Tabatinga, **TQd2** - cobertura areno-argilosa, **Grp** - filitos e xistos do Grupo Rio Preto.



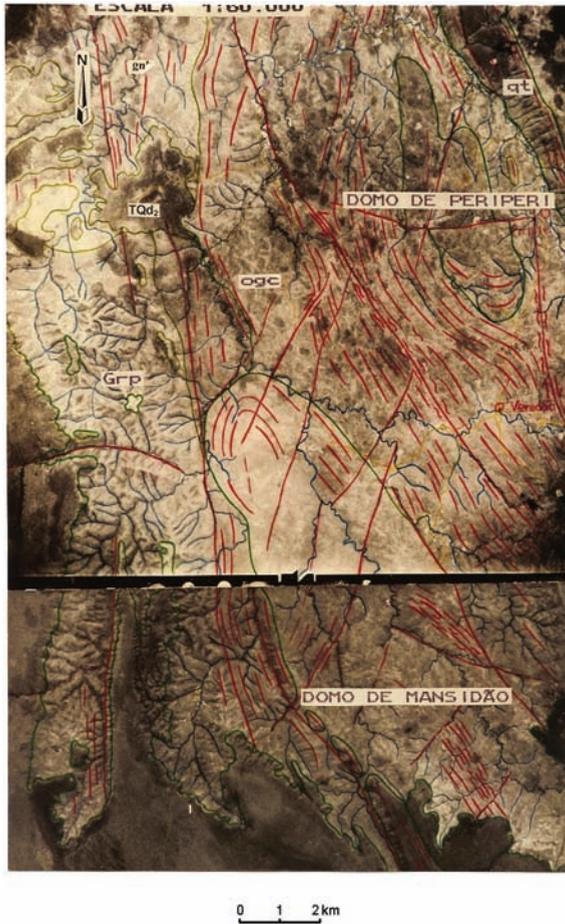
**Foto 15** - O par fotográfico mostra a serra do Estreito limitada por falhas transcorrentes, sugeridas pela geometria das fotolineações.

**TQd2** - cobertura areno-argilosa; **Gso** - quartzitos do Grupo Santo Onofre.



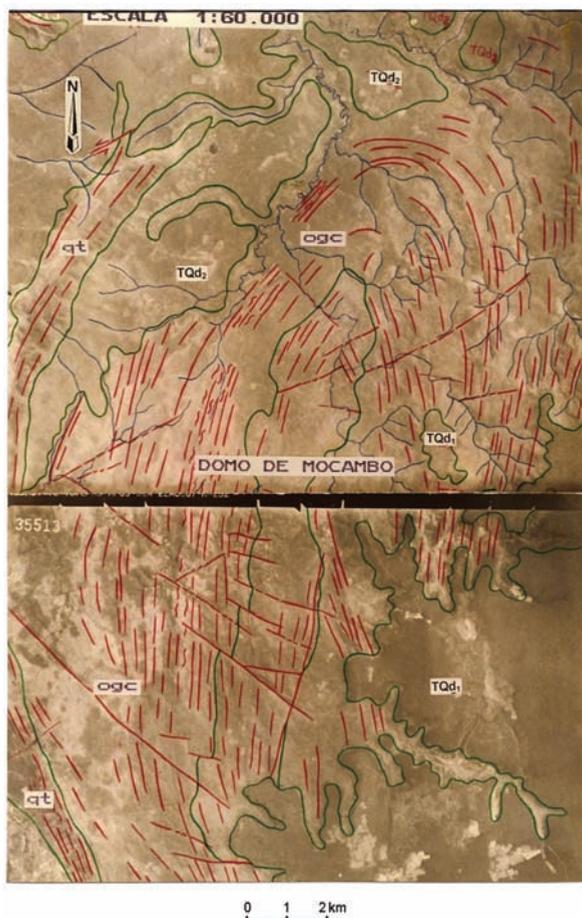
**Foto 16** - A montagem fotográfica acima, que revela os metassedimentos mesoproterozóicos do Grupo Rio Preto, empurrados sobre o domo de Mansidão no extremo noroeste da Bahia, apresenta também algumas fotolineações, sugerindo a existência de transcorrências associadas a esses empurrões.

**TQd1** - cobertura areno-argilosa, relacionada à superfície de desnudação da serra da Tabatinga. **TQd2** - cobertura areno-argilosa. **Grp** - filitos e xistos do Grupo Rio Preto. Domo de Mansidão - ortognaisses de natureza granítica/tonalítica.



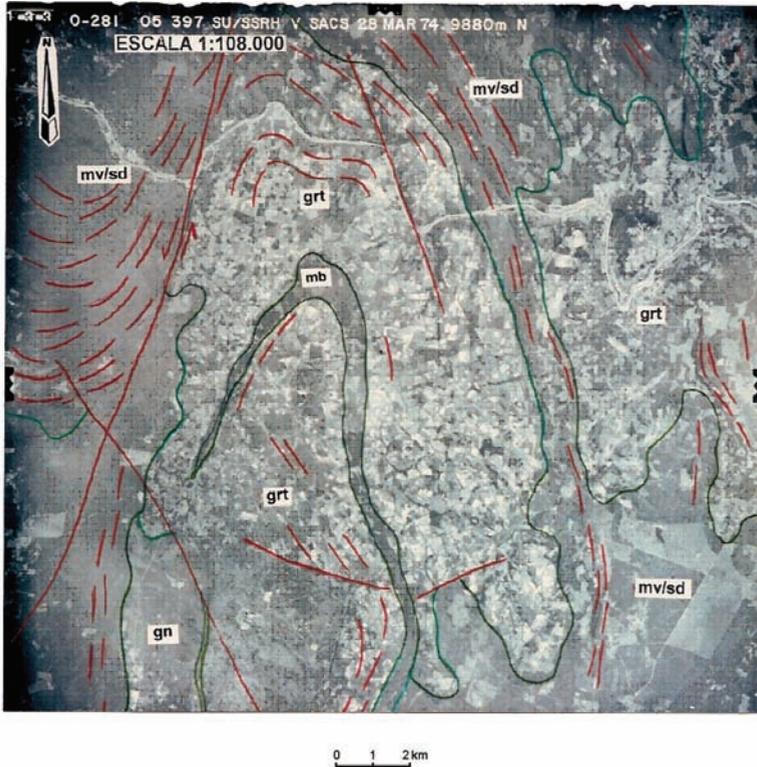
**Foto 17** - A montagem fotográfica exibida acima mostra as estruturas que compõem os domos graníticos de Mansidão e Periperi, sul do Piauí. Essas estruturas, que são compostas por ortognaisses cisalhados, contendo expressivas zonas de cisalhamento, apresentam núcleos de natureza granítica/tonalítica. A geometria estabelecida pelos feixes das fotolineações indicam em alguns locais o sentido do transporte.

**TQd2**- cobertura areno-argilosa. **Grp** - xistos, filitos e quartzitos (qt) do Grupo Rio Preto. Gnaisses bandados - Gnb. Ortognaisses cisalhados (ogc) do Complexo Gnáissico Migmatítico.



**Foto 18** - Estrutura ovalada (domo de Mocambo), composta por um núcleo central, ligeiramente elevado e alongado, constituído por ortognaisses de natureza essencialmente tonalítica. Ortognaisses cisalhados (ogc), contendo grande densidade de lineações, com frequentes zonas de cisalhamento, configuram a parte externa dessa estrutura.

**TQd1**- cobertura areno-argilosa, relacionada à superfície de desnudação da serra da Tabatinga. **TQd2**- cobertura areno-argilosa. Quartzitos (qt) do Grupo Rio Preto. Ortognaisses cisalhados (ogc) do Complexo Gnáissico-Migmatítico.



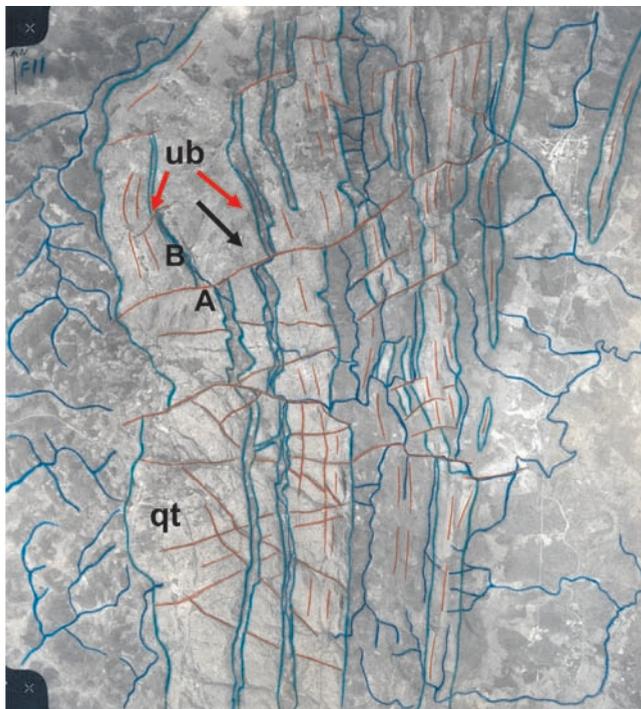
**Foto 19** - A fotografia aérea apresentada acima, que está localizada na região de Araci, Ba, focaliza o greenstone belt do Rio Itapicuru. A unidade composta por metavulcânicas e metassedimentos (mv/sd), que está assinalada pela uniformidade da tonalidade de cinza médio, exhibe também um relevo colinoso e ainda grande densidade de fotolineações. O traçado de todas as fotolineações no quadrante noroeste da foto, que indica a cinemática do movimento das camadas, é um importante elemento na definição do quadro geológico da área. Os granitóides (**grt**) constituem núcleos, ligeiramente ovalados, que são destacados tanto pelos tons de cinza-claro, em função do alto poder de reflectância, como também pela grande concentração de cultivos. Observar a drenagem controlada por falhamentos na parte superior da foto. **mb** - metabasitos; **gn** - gnaisses/migmatitos.



**Foto 20** - A fotografia aérea exibida acima, que mostra a região de Irajuba, Ba, apresenta rochas de alto grau metamórfico, as quais configuram redobramentos, com destaque para o padrão em laço delineado pela camada de quartzito (qt).



**Foto 21** - Este par fotográfico mostra parte do cinturão granulítico costeiro (**gl**) do sul da Bahia, região de Ubaitaba, com o rio de Contas no setor sul da foto. Observa-se na parte noroeste uma estrutura de drenagem com formato de abacate, onde a drenagem está condicionada à estrutura. Nas áreas com maior frequência de metavulcânicas/metassedimentos (**mv/sd**), a drenagem dendrítica fina torna-se mais densa. Observa-se ainda maior concentração de planos em corredores de cisalhamento, como na parte sul da foto. **Tb**- Grupo Barreiras, **Q**- quaternário.



**Foto 22** - A foto exhibe os quartzitos da Serra de Jacobina(**qt**) com tons claros, fraturados e penetrados por sills de rochas ultrabásicas(**ub**). A seta preta mostra o efeito produzido pela falha extensional no sill de rocha ultrabásica estruturado na forma de sinclinal revirado. Em função do nível de erosão, no bloco baixo (**B**) os flancos do sill estão mais espaçados, enquanto no bloco alto (**A**) estão mais próximos. (Escala original da foto 1:70.000).

# **APÊNDICE 2**

Georreferenciamento de Imagens  
de Fotografias Aéreas Convencionais

## GEORREFERENCIAMENTO DE IMAGENS DE FOTOGRAFIAS AÉREAS CONVENCIONAIS

O georreferenciamento de fotografias aéreas aqui introduzido, tem como objetivo difundir e ampliar a utilização das fotografias aéreas em meio digital. Com isto espera-se contribuir e incentivar os novos técnicos a utilizarem as fotografias aéreas não só através do modo analógico convencional, mas também em meio digital. Desta forma foi necessário a introdução deste apêndice descrito pelo geólogo Nelson Custodio da Silveira Filho com participação do estagiário Joel dos Santos Nazário.

A seguir, são enumerados alguns passos essenciais para se promover a migração e utilização das fotografias aéreas convencionais em meio digital.

- Seleção das fotografias aéreas que cobrem a área de pesquisa ou do projeto de mapeamento geológico do usuário;
- Realizar a fotointerpretação das fotos selecionadas segundo as técnicas tradicionais da fotogeologia. Nesta fase, é importante salientar a necessidade de se realçar com a maior precisão possível os elementos fotointerpretados (rede de drenagem, estradas, feições estruturais, unidades fotogeológicas, traços de contato, etc.) utilizando as cores convencionais recomendadas para trabalhos de fotointerpretação. Pontos notáveis ou inconfundíveis no terreno devem também ser selecionados e realçados, pois esta atitude facilita os trabalhos de georreferenciamento. De preferência, estes pontos devem ser escolhidos nas áreas de menor distorção das fotografias aéreas, geralmente localizados na sua porção central.
- Escanear as fotos fotointerpretadas, ajustando o scanner para uma resolução mínima de 300 dpi. As imagens podem ser salvas nos formatos TIFF ou JPG;
- Georreferenciar as imagens, uma a uma, para que os dados realçados possam ser transpostos e utilizados em ambiente digital, normalmente gerenciado por softwares construídos com base em princípios e conceitos da tecnologia dos Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

A seguir, de forma objetiva e resumida, é descrito um roteiro simples e geral de georreferenciamento de imagens digitais onde se utiliza como ferramenta de trabalho o ArcGIS 9.x, um software, de excelente qualidade, produzido e comercializado pela empresa norte americana Environmental Systems Research Institute (ESRI). O ArcGIS foi escolhido para este trabalho por se tratar de um dos softwares mais utilizados e conhecidos atualmente no meio geológico. A metodologia a seguir descrita é genérica, e, portanto, perfeitamente aplicável para o georreferenciamento de imagens digitalizadas de fotografias aéreas convencionais obtidas através do uso de scanners.

### **Georreferenciamento de uma imagem no ArcGIS 9.x**

Basicamente, o processo de georreferenciamento de uma imagem no ArcGIS 9.x consiste em fazer coincidir feições geográficas de uma imagem não georreferenciada (não registrada) com estas mesmas feições (pontos ou locais notáveis do terreno) localizadas em uma imagem georreferenciada (registrada) de um projeto SIG, através da adição de links, também conhecidos como pontos de controle.

É necessário que na área de trabalho exista uma imagem registrada (base planimétrica), isto é, já disponha de um arquivo digital construído no formato shape do ArcGIS, cujo sistema de coordenadas e de projeção (Datum) já estejam definidos. Esta base planimétrica servirá de apoio e referencia às ações de georreferenciamento que serão descritas, aplicadas sobre uma shape não registrada, representativa de uma imagem de fotografia aérea convencional transposta para o meio digital através de um scanner.

Considerando que o objeto deste apêndice está voltado para o georreferenciamento de fotografias aéreas convencionais é bom lembrar que entre outros, a rede hidrográfica sempre constitui um bom elemento para ser utilizado como base planimétrica de referencia (Shape registrada).

Da mesma forma, lembramos que as ações ou etapas que serão descritas são unitárias, isto é, as operações de georreferenciamento deverão ser repetidas para cada imagem do projeto do usuário. Ao final do trabalho, as imagens já georreferenciadas poderão ser manuseadas livremente no ambiente do ArcMap, quando então, as feições fotointerpretadas poderão ser coletadas através de digitalização na tela do computador e organizadas em shapes temáticas de interesse do usuário.

## Roteiro geral para o georreferenciamento de imagens digitais

- Abrir a barra de ferramentas *Georeferencing* do ArcMap;
- Desativar a ferramenta *Auto Adjust*;
- Manipular o modo *Display* do ArcMap para posicionar e poder visualizar as duas imagens no seu ambiente de trabalho, isto é, a imagem registrada e a não registrada;
- De início, adicionar no mínimo, dois pontos de controle;
- Ativar a ferramenta *Auto Adjust*;
- Conferir a situação do *RMS* (erro) para adicionar ou deletar pontos de controle utilizados (se necessário);
- Quando os pontos estiverem bem ajustados, acione a opção *Update Georeferencing* para terminar a operação;

Para facilitar a compreensão e o desenvolvimento das ações ou etapas enumeradas no roteiro, são apresentados a seguir alguns detalhes úteis sobre as mesmas:

1 - Abra a barra de ferramentas ***Georeferencing***, figura 1 clicando em seqüência nas opções *View > Toolbars > Georeferencing*



**Figura 1** - Barra de ferramentas de Georreferenciamento (Toolbars - Georeferencing)

## 2 - Selecione e desmarque a ferramenta *Auto Adjust*, figura 2

Esta ação é útil, porque assim você poderá escolher os seus pontos de controle iniciais de maneira mais fácil. Esta ferramenta desativada, faz com que o ArcMap não tente ajustar a imagem automaticamente, o que, às vezes, pode tornar seu trabalho mais difícil.

Desta forma, é bom ressaltar que a criação de um bom par de pontos de controle logo no início do trabalho torna a operação de georreferenciamento mais fácil.

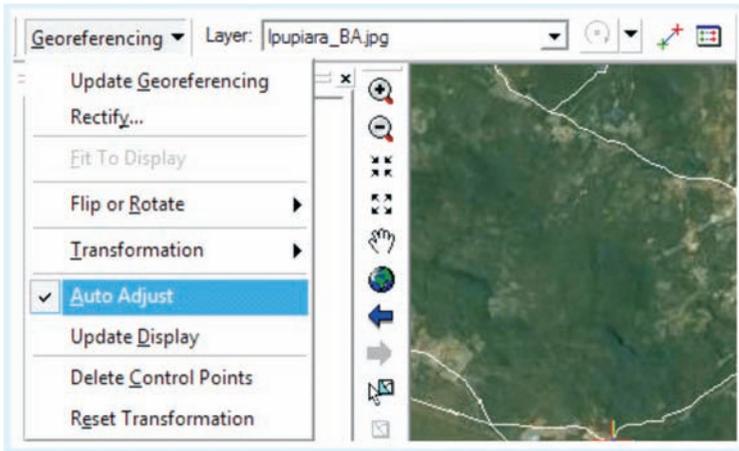


Figura 2 - A ferramenta *Auto Adjust* deve ser desativada

## 3 - Ajuste do módulo de exibição (*display*) para que se possa examinar, ao mesmo tempo, a imagem registrada e a não registrada

Para escolher e ajustar os pontos de controle de interesse, você precisa visualizá-los na sua área de trabalho. Para que isto seja possível, selecione a imagem a ser georreferenciada e clique na ferramenta *Fit to display* (ajustar para exibir) e em seguida, ajuste a posição das imagens para examinar os pontos de controle eleitos, um ao lado do outro. Se julgar ser necessário, ajuste a transparência das imagens, pois esta ação geralmente facilita o trabalho de georreferenciamento;

• Utilize a ferramenta *Zoom to Layer*, figura 3, para ampliar e localizar a imagem a ser georreferenciada na sua área de trabalho. Se ela não estiver visível, clique no nome da mesma com o botão direito do *mouse* para selecioná-la e acione então a ferramenta *Zoom to Layer*.

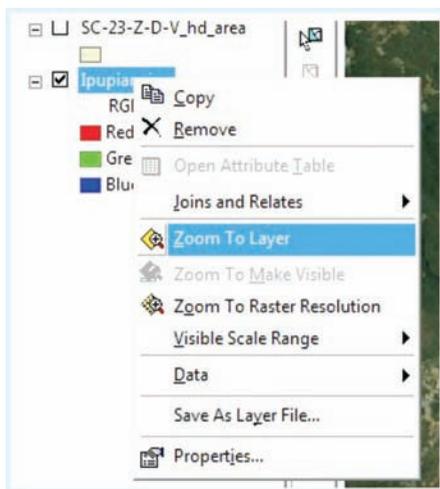


Figura 3 - Zoom To Layer

#### 4 - Adicione pelo menos 2 pontos de controle

Escolha alguns pontos facilmente identificáveis nas imagens que estão sendo utilizadas para que os mesmos funcionem como pontos de controle, por exemplo, uma intersecção de estradas, uma confluência de rios ou riachos, ou um determinado local ou feição geográfica bem visível nas duas imagens. Quando você adicionar um ponto de controle, lembre-se sempre de clicar primeiro naquele localizado na imagem não registrada, e em seguida, clique no seu correspondente localizado na imagem registrada.

A quantidade de pontos que deve ser inserida no georreferenciamento é variável sendo, no entanto, importante ressaltar que quanto mais pontos forem adicionados, maior será a chance de se realizar um bom ajuste, isto é, realizar um georreferenciamento de boa qualidade.

Como regra, é recomendável manter sempre um bom espaçamento entre os pontos de controle, pois uma grande quantidade de pontos escolhidos muito próximos uns dos outros poderá distorcer a imagem que está sendo georreferenciada. Da mesma forma, sempre que possível, é bom escolher alguns pontos localizados nos cantos da imagem registrada.

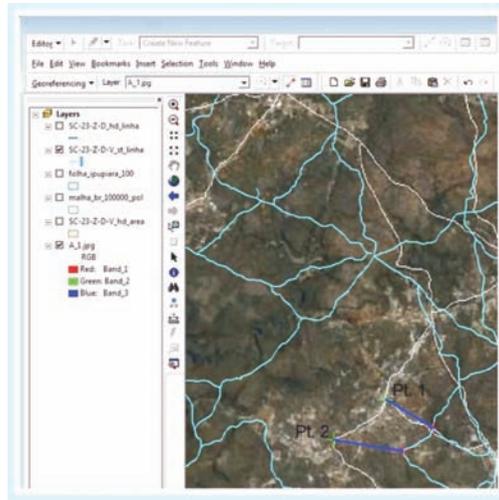


Figura 4 - Adicionando pelo menos dois pontos de controle

### 5 - Ativar a opção *Auto Adjust*

Se você já tiver pelo menos dois pontos de controle definidos, é hora de ativar novamente a função *Auto Adjust* (Ajuste Automático) e assim liberar o ArcMap para trabalhar automaticamente, isto é, a imagem não registrada será ajustada pelo próprio *software*, figura 4.

### 6 - Verifique o erro RMS e adicione ou exclua pontos, se necessário

Com o auto-ajuste ativado, pode adicionar mais pontos de controle em qualquer área onde o ajuste não esteja bom. Caso já tenha no mínimo quatro pontos de controle definidos, já poderá avaliar o erro residual na tabela de pontos de controle figuras 5 e 6.

Para a obtenção de melhores resultados, o erro residual deve estar mais próximo possível de uma unidade do mapa. Os pontos de controle com maior erro residual devem ser deletados e novos pontos deverão ser adicionados para se obter um melhor ajuste do georreferenciamento em curso.

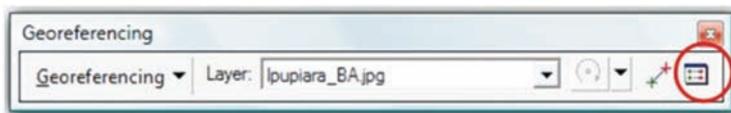


Figura 5 - Barra de ferramentas de Georreferenciamento

É sempre bom lembrar que o algoritmo de ajuste do ArcMap sempre vai diminuindo as mudanças na medida em que se adiciona um novo ponto de controle, e por isso sempre é melhor se ter uma média de 05 a 08 pontos de controle do que se ter muitos pontos.

Selecione nesta tabela os pontos considerados ruins, e então, clique neste botão para eliminá-los.

Link	X Source	Y Source	X Map	Y Map	Residual
1	613,135486	-413,860632	-42,707824	-11,749147	0,00015
2	656,135209	-380,232644	-42,695841	-11,740030	0,00038
3	345,321041	-318,243595	-42,779981	-11,724140	0,00028
4	633,651957	-166,289953	-42,701572	-11,684384	0,00049
5	799,303382	-213,613206	-42,658069	-11,696527	0,00053

Figura 6 - Tabela de pontos de controle (*links*)

## 7 - Registro permanente da imagem

Quando o resultado do georreferenciamento realizado for considerado bom, já poderá registrar a imagem de forma definitiva e permanente, pois as ações de georreferenciamento já foram concluídas e este já está disponível na próxima vez que a imagem for utilizada.

Para salvar a imagem e fixar os resultados do georreferenciamento realizado também pode escolher a opção *Update Georeferencing* disponível no menu *drop-down* da opção *Georeferencing*. Esta ação salvará a nova informação espacial diretamente na sua imagem.

Por medida de segurança, somente salve a imagem que acabou de georreferenciar após estar plenamente de acordo com os resultados obtidos, pois a adição de novos pontos de controle não é mais possível se a imagem for salva.

Alternativamente, a imagem georreferenciada também poderá ser salva através da opção *Rectify* que a salva como uma nova imagem nos formatos TIFF ou GRID do ArcInfo. A escolha dessa opção significa que a sua imagem original não foi alterada, e nesse caso, poderá adicionar mais pontos de controle à imagem se julgar necessário. O uso da opção *Rectify* pode levar um pouco mais de tempo para concluir a correção da imagem e pode, também, ocasionar uma mudança na cor da imagem.

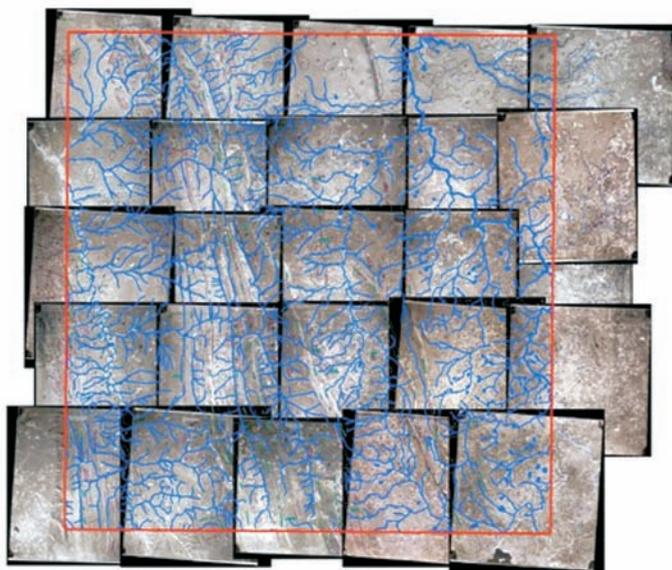
A opção *Rectify* é normalmente utilizada para a produção de arquivos georreferenciados no formato TIFF que podem ser lidos em outros softwares além do ArcGIS.

A figura 7 representa um exemplo de um dos momentos finais de um trabalho de georreferenciamento desenvolvido de acordo com as ações e etapas descritas no roteiro deste Apêndice. O “mosaico” fotografias aéreas convencionais mostrado na ilustração, representa uma etapa do trabalho onde os elementos fotointerpretados e ajustados ao ambiente vetorial registrado do ArcMap já estão prontos para serem digitalizados para compor shapes temáticas de interesse (rede de drenagem atualizada; rede viária; mapa de fraturas; lineações estruturais; falhas; unidades fotogeológicas, etc..).

As fotografias aéreas utilizadas neste trabalho foram produzidas por aerolevanteamento realizado sob os auspícios do Convênio IBGE

– USAID, 1964; vôo O-201, escala aproximada 1:70.000, fotoíndice nº. 21, abrangem uma área de 3.000 km<sup>2</sup> do oeste do Estado da Bahia, equivalente à da folha Boquira (SD.23-X-B-V), produzida pelo IBGE; Edição 1967, escala 1:100.000.

A base planimétrica utilizada no trabalho de georreferenciamento mencionado (rede de drenagem), foi elaborada a partir da conversão de arquivos digitais, no formato < dgn >, fornecidos pela SEI - Superintendência de Estudos Sociais e Econômicos do Estado da Bahia, 2003, para o formato *shapefile*, referente à folha Boquira.



**Figura 7** - “Mosaico” de fotografias aéreas georreferenciadas, ajustadas à rede de drenagem (cor azul) da Folha Boquira (SD.23-X-B-V), escala 1:100.000 (IBGE).



sobretudo quando o autor atuou como Coordenador Regional de Sensoriamento Remoto da Superintendência Regional de Salvador (de 1990 à 1997).

Como atividade docente ministrou o módulo de Fotointerpretação do curso sobre Formações Superficiais em Morro do Chapéu, organizado pelo Departamento de Gestão Territorial – DEGET em 1996, e orientou alunos de graduação da UFBA nas atividades de Fotointerpretação no Domínio do Cinturão Móvel Costeiro Atlântico. Ministrou curso de fotogeologia em diversas Unidades Regionais da CPRM com participação na fotointerpretação dos projetos existentes nestas unidades, no ano de 2009.

