

MANUAL DE SENSORIAMENTO REMOTO

PARTE A

INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORES REMOTOS E  
SUAS APLICAÇÕES EM LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS

Geólogo: João Batista A. Arcanjo \*

\* Coordenador Regional de Sensoriamento Remoto da  
Superintendência Regional de Salvador (SUREG/SA).

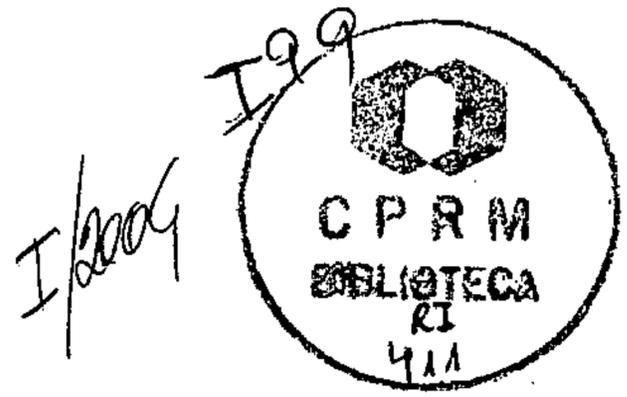
RI

411

INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORES REMOTOS E  
SUAS APLICAÇÕES EM LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS

PARTE A DO MANUAL DE SENSORIAMENTO REMOTO

CPRM, 1992



## INTRODUÇÃO

O avanço tecnológico no campo de sensoriamento remoto, tem sido grande nos últimos anos. Desde o lançamento do primeiro satélite da série LANDSAT em 1972, que os mecanismos que envolvem esta ciência vem obtendo importantes resultados nessa área. Enquanto os primeiros satélites da série LANDSAT operavam com quatro bandas do espectro óptico, o LANDSAT-5 (TM) passou a detectar sete bandas. Isto tem proporcionado informações mais detalhadas sobre a superfície da terra, discriminando com mais clareza as feições geológicas. Consequentemente, a interpretação dessas imagens, incluindo também as fotografias aéreas, tem se revestido de maior importância, exigindo metodologias cada vez mais aprimoradas e sofisticadas. Por outro lado, a crescente complexidade dos problemas geológicos a serem estudados, também têm proporcionado a implantação de novos métodos, capazes de fornecer informações decisivas na resolução de problemas específicos. De certa forma, os novos produtos do mapeamento geológico básico, deverão incorporar esses implementos, com o objetivo de fornecer mapas com informações mais detalhadas e profíguas, sobre as diversas áreas da geologia.

Assim, visando alcançar estes objetivos, apresenta-se de forma sucinta neste documento, os principais fundamentos utilizados na interpretação de imagens de sensores remotos (imagens de satélite, radar e fotografias aéreas). Estão expostos os métodos e as técnicas empregadas na interpretação dessas imagens, que são imprescindíveis em levantamentos geológicos. Muitas das informações apresentadas, foram extraídas de casos específicos, verificados em projetos de mapeamento geológico básico. Dessa forma, procurou-se expor os principais elementos a serem analisados em fotogeologia, sem adotar uma metodologia sistemática, entendendo que para cada área, existem aspectos diferentes a serem interpretados, além da própria percepção geológica de cada profissional que à executa.

Com isso, pretende-se oferecer uma visão clara e ampla sobre os novos conceitos e técnicas de fotogeologia, no sentido de descrever ou auxiliar a interpretação dos diversos problemas geológicos, que são passíveis de serem equacionados pela fotointerpretação, objetivando um produto de melhor qualidade, compatível com o avanço das ciências geológicas e de sensoriamento remoto.

## SUMÁRIO

### INTRODUÇÃO

I - SENSORIAMENTO REMOTO	6
1.1 <i>Natureza da Radiação Eletromagnética</i>	6
1.2 <i>Sistemas Sensores</i>	6
II - SENSORES REMOTOS APLICADOS À GEOLOGIA	8
2.1 <i>Fotografias Aéreas</i>	8
2.2 <i>Imagens de Satélite LANDSAT</i>	8
2.3 <i>Imagens de Satélite SPOT</i>	9
2.4 <i>Imagens de Radar</i>	11
III - MÉTODOS DE INTERPRETAÇÃO DE IMAGENS DE SENSORES REMOTOS	12
3.1 <i>Comentários Gerais</i>	12
3.2 <i>Método Convencional</i>	12
3.3 <i>Método Lógico-Sistemático</i>	13
3.4 <i>Método de Lógica das Chaves</i>	17
3.5 <i>Análise Digital de Imagens</i>	18
IV - ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA	20
4.1 <i>Grandes Feições Morfoestruturais</i>	22
4.1.1 <i>Bacias Sedimentares</i>	22
4.1.2 <i>Cadeias Dobradas</i>	24
4.1.3 <i>Blocos Falhados</i>	26
4.1.4 <i>Maçiços Homogêneos</i>	26
4.1.5 <i>Maçiços Vulcânicos</i>	26
4.1.6 <i>Montanhas Complexas</i>	26
4.1.7 <i>Relevos Arrasados</i>	26
4.2 <i>Elementos Morfoclimáticos</i>	28
4.3 <i>Morfologia de Intrusões Circulares</i>	28
V - ANÁLISE ESTRUTURAL	30
5.1 <i>Camadas Guia</i>	30
5.2 <i>Atitude de Camadas</i>	30
5.3 <i>Camadas Horizontais</i>	31
5.4 <i>Camadas Dobradas</i>	31
5.5 <i>Discordâncias</i>	33
5.6 <i>Ordem e Grau das Estruturas</i>	33
5.7 <i>Estruturas Circulares/Ovaladas</i>	36

5.8 Dobramento Superposto	38
5.9 Fraturas	39
5.10 Falhas	40
5.10.1 Falhas Extensionais ou de Gravidade	41
5.10.2 Falhas Transcorrentes ou de Rejeito Direcional	45
5.10.3 Falhas Contracionais (Empurrões/Inversas)	47
5.11 Zonas e Cinturões de Cisalhamento	48
VI - ANÁLISE DA DRENAGEM, TONALIDADE, TEXTURA E VEGETAÇÃO	51
6.1 Drenagem	51
6.2 Tonalidade ou Refletância	63
6.3 Textura	63
6.4 Vegetação	64
VII - APLICAÇÕES AO PROGRAMA DE LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS (PLGB)	67
7.1 Mapa de Lineações	67
7.2 Mapa de Fraturas e Falhas	68
7.3 Mapa Fotogeológico	68
7.4 Mapa de Formações Superficiais	72
7.4.1 Formações Residuais	72
7.4.2 Depósitos Fluviais	73
7.4.3 Depósitos Litorâneos	74
7.5 Pesquisa Mineral	76
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	78

## 1 - SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento Remoto pode ser definido, como uma técnica que permite obter informações sobre objetos, sem contato físico com eles. Pode ser definido também, como sendo a utilização conjunta de modernos sensores, equipamentos para processamento de dados, equipamentos de transmissão de dados, aeronaves, espaçonaves, etc., com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através do registro, e da análise das interações entre a radiação eletromagnética, e as substâncias componentes do planeta terra, em suas mais diversas manifestações (Novo, 1989).

### 1.1 Natureza da Radiação Eletromagnética

O Sensoriamento Remoto, analisa a interação entre a radiação eletromagnética e as substâncias. Todo corpo com temperatura absoluta acima de zero, pode ser considerado como uma fonte de radiação. A propagação desta radiação, pode ser realizada através de duas teorias: a) emissão de partículas, que se movem à velocidade de  $3 \times 10^8$  m/s (Modelo Corpuscular), e b) feita com movimentos ondulatórios (Modelo ondulatório).

O sol é a principal fonte de energia eletromagnética. A radiação solar caracteriza-se pela máxima emissão na região visível do espectro, que está entre  $0,4$  e  $0,7 \mu\text{m}$  (micrômetro).

Quando a radiação eletromagnética atravessa um meio, sofre dois tipos de alterações: a) espalhamento e b) absorção. O que se mede no Sensoriamento Remoto, é a energia terrestre refletida pelos diferentes objetos da superfície.

### 1.2 Sistemas Sensores

Um sistema sensor, pode ser definido como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia, em um sinal passível de ser convertido em informação sobre o ambiente (Novo, 1989). Como já foi dito anteriormente, no caso do Sensoriamento Remoto, a energia utilizada é a radiação eletromagnética.

Os sistemas sensores, podem ser classificados de diferentes maneiras. Quanto a fonte de energia, os sistemas sensores podem ser classificados em passivos (fotográficos, satélites) e ativos (radar). Quanto a formação de energia, os sensores são classificados em fotográficos, sensores de varredura eletro-óptica (satélites) e radares, que também são denominados de imageadores, por fornecerem uma imagem da superfície observada.

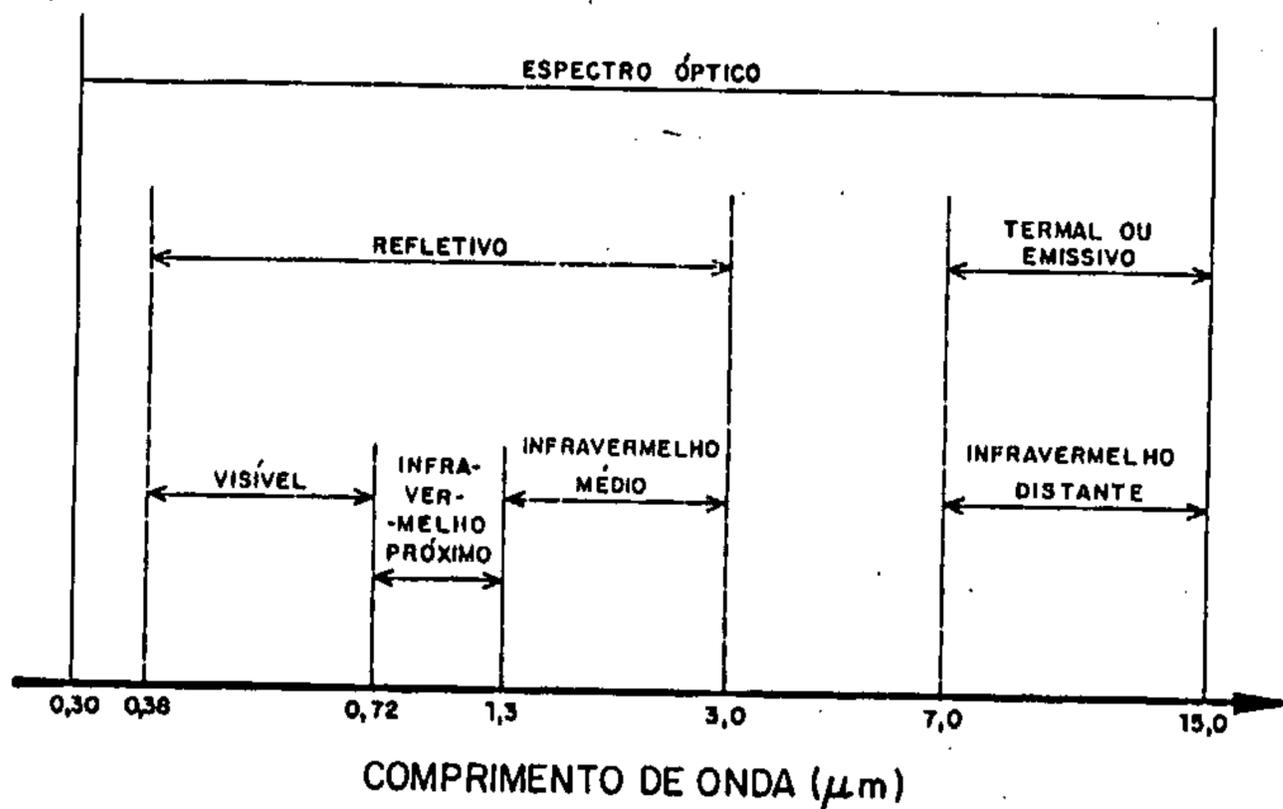


Figura 1.1 - Regiões do espectro óptico. Fonte: Novo (1989)

A figura 1.1 apresenta as regiões do espectro óptico, com os respectivos nomes pelas quais são conhecidas. A região entre 0,38  $\mu\text{m}$  e 3,00  $\mu\text{m}$  é chamada de porção refletida do espectro, porque a energia que os sensores detectam é basicamente originada da reflexão da energia solar pelos objetos da superfície.

0,3 $\mu\text{m}$	a	0,38 $\mu\text{m}$	- ultravioleta
0,38 $\mu\text{m}$	a	0,72 $\mu\text{m}$	- o espectro recebe o nome de visível
0,72 $\mu\text{m}$	a	1,3 $\mu\text{m}$	- infravermelho próximo
1,3 $\mu\text{m}$	a	3,0 $\mu\text{m}$	- infravermelho médio
7,0 $\mu\text{m}$	a	15,00 $\mu\text{m}$	- infravermelho distante (termal)

## 11 - SENSORES REMOTOS APLICADOS À GEOLOGIA

É importante considerar neste capítulo, as características de cada sistema sensor aplicado à geologia, para que se tenha uma ideia formada sobre as vantagens e limitações de cada um deles.

### 2.1 Fotografias Aéreas

A fotografia aérea, ainda é o mais importante produto do sensoriamento remoto, e sua utilização é imprescindível na execução de mapeamentos geológicos. A grande vantagem da fotografia aérea, consiste não só na visão estereoscópica, a qual facilita consideravelmente a análise do relevo, mas também pelo grande poder de resolução espacial que possui.

Os principais fatores que afetam a qualidade das fotografias aéreas são: a iluminação da cena, a refletância dos alvos, o espalhamento da radiação e o ângulo de elevação do sol.

Por tratar-se de um sensor passivo, a tomada de fotografias aéreas, necessita de boas condições atmosféricas, para que haja contraste e nitidez entre os objetos que compõem a cena.

A limitação dos sistemas fotográficos, reside nos filmes, que por atuarem em apenas uma parte da região do espectro eletromagnético, perdem a capacidade de discriminar um maior número de objetos da superfície fotografada.

### 2.2 Imagens de Satélite LANDSAT

As imagens de satélite LANDSAT, tem sido amplamente utilizadas em mapeamentos geológicos, desde o ano de 1973, quando começaram a chegar ao Brasil as primeiras imagens.

Enquanto os primeiros satélites da série LANDSAT operavam com quatro bandas do espectro, e resolução espacial de 80m, o Mapeador Temático (TM), lançado em 1984, passou a detectar sete bandas do espectro, com poder de resolução de 30m. Com isto, a imagem TM adquiriu principalmente, maior poder de discriminação espectral entre os objetos da superfície terrestre, além do sistema possuir maior fidelidade geométrica e melhor precisão radiométrica.

Essas imagens, que também são produzidas por um sensor passivo, necessitam de boas condições atmosféricas no momento da tomada.

As limitações desse sensor estão, basicamente, na ausência de visão estereoscópica e na dependência das condições meteorológicas, sobretudo, presença de nuvens.

Entre os primeiros satélites da série LADSAT, a imagem da banda 5, era a que fornecia melhores informações sobre a geologia. Já no Mapeador Temático (TM), a banda 4 (0,76-0,90  $\mu\text{m}$ ), é a que oferece melhor interpretação geológica, seguida pela banda 7 (2,08-2,35  $\mu\text{m}$ ), a qual realça as rochas com alta refletância, ideal para delimitar rochas de composição félsica.

Na região de Serrinha(BA), a banda 4 do TM, assinala com clareza todas as lineações e litologias do greenstone, enquanto o canal 7, evidencia com nitidez os corpos graníticos intrusivos no mesmo. Já na região norte do Quadrilátero Ferrífero(MG), os resultados obtidos por Novo (1989), foram os seguintes: a) as bandas 6 e 7, forneceram melhores resultados para a individualização de unidades litológicas, em que ocorrem controles topográficos; e b) o canal 7 (infravermelho próximo), permitiu discriminar entre rochas ricas e pobres em ferro, facilitando a delimitação das formações ferríferas. As características gerais e aplicações do TM, encontram-se na tabela 1.

### *2.3 Imagens de Satélite SPOT*

Lançado em 1986, o satélite SPOT opera de dois 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  $\mu\text{m}$  (micrômetro), e com resolução espacial de 10 metros.

A grande vantagem do SPOT, consiste na possibilidade de visão estereoscópica, a qual é realizada através da visada lateral, efetuada pela câmera. O SPOT possui ainda, melhor resolução espacial que o TM, e passagens mais frequentes, em locais onde existe necessidade de recobrimentos sucessivos.

Uma importante vantagem das imagens de satélite, em relação às fotografias aéreas, é a visão panorâmica obtida pelas mesmas, a qual proporciona uma interpretação ampla sobre a área.

O SPOT, da mesma forma que o TM, necessita de boas condições meteorológicas, para tomada de imagens, sendo esta, uma das principais limitações do sistema. A tabela 2, apresenta as características e aplicações do SPOT.

Tabela 1 - Características e Aplicações do TM

BANDAS	INTERVALO ESPECTRAL ( $\mu m$ )	NÍVEL *4 DE QUANTIZAÇÃO	APLICAÇÃO POTENCIAL
1	V I S 0,45 a 0,52 (azul)	256	MAPEAMENTO DE ÁGUAS COSTEIRAS DIFERENCIAÇÃO SOLO/VEGETAÇÃO.
2	I I V 0,52 a 0,60 (verde)	256	DETECÇÃO DE RADIAÇÃO VERDE REFLETIDA PELA VEGETAÇÃO SADIA.
3	E L 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 DETECÇÃO DA PRESENÇA DE ÍONS FÉRRICOS.
5	*1 1,55 a 1,75	256	MEDIÇÃO DO CONTÉUDO DE UMIDADE DE VEGETAÇÃO. POSSIBILIDADE DE DETECÇÃO DE LIMONITA.
6	*2 10,4 a 12,5	256	PROPRIEDADES 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.

OBS.: \*1 = Infravermelho Próximo  
 \*2 = Infravermelho Termal  
 \*3 = Infravermelho Médio  
 \*4 = Quantidade de tons de cinza.

Tabela 2 - Características 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.

Conforme observado na tabela 2, a banda 3, é a mais indicada para mapeamentos geológicos.

#### 2.4 Imagens de Radar (SLAR)

As imagens de Radar, também tem grande aplicabilidade em mapeamentos geológicos, a exemplo do que realizou o Projeto RADAM (RADAMBRASIL) em território brasileiro.

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 atmosférica adversas. Por isso, este sistema tem grande potencial de aplicação em regiões tropicais, onde a precipitação pluviométrica e a cobertura de nuvens, reduzem a eficiência de sensores que operam em faixas espectrais fora da região das microondas.

Outra vantagem do radar, é a visão estereoscópica, que é permitida através dos "strips" contíguos. Além disso, as imagens de radar realçam os aspectos estruturais, sobretudo falhas e fraturas, e também fornecem uma visão panorâmica da área, facilitando a interpretação.

A discreta discriminação litológica, verificada nessas imagens, consiste na principal limitação do sistema.

## *3.1 Comentários Gerais*

A interpretação geológica de fotografias aéreas, imagens de satélite e de radar, consiste na identificação dos diversos elementos geológicos, expostos nessas imagens, através das feições registradas nas mesmas.

O estudo fotogeológico é abrangente, e compreende quase todos os ramos da geologia, em especial, os aspectos geomorfológicos, estruturais, estratigráficos e litológicos. Estes fenômenos geológicos, por estarem complexamente relacionados, requerem uma análise conjunta, de todos os elementos disponíveis, de forma a compreender melhor, os processos geológicos que atuaram na área em estudo.

A interpretação detalhada das imagens de sensores remotos, não só, fornece importantes subsídios sobre a geologia geral da área, como também facilita os trabalhos de campo, com informações prévias do que se espera encontrar, e os locais favoráveis às observações.

Quase todas as feições registradas nas imagens, têm suas correspondências e definições em afloramentos. Ou seja, existe uma relação direta, entre as estruturas detectadas nas imagens, com os fenômenos vistos em campo. A diferença entre as observações fotogeológicas, e as de campo, está na escala. Grande parte dos elementos verificados em campo, como por exemplo, as características gerais sobre as litologias, aspectos estruturais e geomorfológicos, podem ser analisados nas imagens dos sensores remotos, de forma ampla e integrada, em que pese as limitações dos métodos e dos próprios sensores remotos.

Ao analisar uma imagem, procura-se sempre mentalizar o que está ocorrendo no terreno, isto facilita a interpretação. Também é importante localizar feições de rocha aflorante nas imagens, porque fornecem dados confiáveis, principalmente sobre a litologia e estrutura.

Assim, existe uma infinidade de situações geológicas, que podem ser bem analisadas nas imagens de sensores remotos. Contudo, a experiência de quem interpreta essas imagens, é fundamental, não só, pelo fato de comparar e entender as feições contidas nas mesmas, com o que acontece em campo, como também pela decisão de soluções aos diversos problemas geológicos que ocorrem na área.

## *3.2 Método Convencional*

Na literatura fotogeológica, basicamente são encontrados dois métodos de interpretação de imagens de sensores remotos (fotografias aéreas e imagens de satélite).

O primeiro método (convencional), preconizado pela escola americana, é o mais difundido no Brasil, tornando-se por conseguinte, o mais utilizado em projetos de mapeamento geológico básico. O referido método, se baseia principalmente nos aspectos do relevo e nos padrões de drenagem, combinados com as características da tonalidade e da textura. Assim, o mecanismo de execução da fotointerpretação por este método, se fundamenta na associação simultânea dos diversos parâmetros de conhecimento, visando a identificação de unidades geológicas comprovadamente distintas no campo. É fundamental neste caso, o conhecimento prévio das características geométricas da imagem, na qual se executa a interpretação, para uma perfeita integração dos dados. Portanto, este método requer alguma experiência, não só, na prática de interpretação de imagens de sensores remotos, como também, vivência em trabalhos de campo.

Os padrões de drenagem, tonalidade, textura e vegetação, serão analisados no capítulo VI.

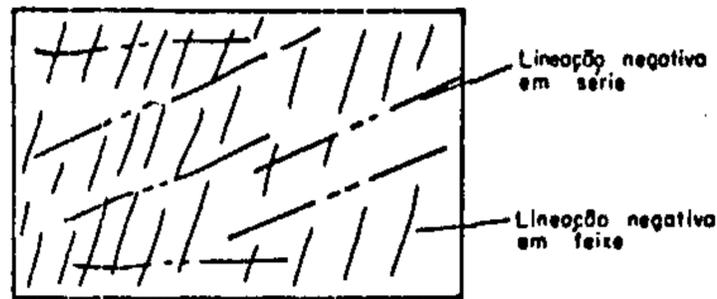
### *3.3 Método Lógico-Sistemático*

O segundo método, é o denominado lógico-sistemático, utilizado na França a partir das pesquisas de Guy (1966). É baseado essencialmente no estudo das propriedades das formas, permitindo que a interpretação possa ser utilizada como um meio de descoberta autônomo, que permite analisar a paisagem sem idéias preconcebidas. O significado dos elementos estruturais e texturais, não são interpretados geologicamente, pelo menos, na fotoleitura inicial. A fotoanálise inicial, é feita através do traçado de todas as lineações positivas e lineações negativas em feixe e em série, utilizando-se cores diferentes para cada uma delas. Concluída esta fotoanálise inicial, passa-se a definição dos conjuntos homólogos ou zonas homólogas, que são áreas formadas pela repetição dos mesmos elementos texturais e a mesma estrutura. Cada faixa contida entre uma quebra positiva de relevo e uma negativa, constitui uma zona homóloga. A descontinuidade de zonas homólogas, pode estar assinalada pela quebra de relevo, ou pelas lineações em feixe ou em série.

As lineações positivas são estruturas retilíneas, ou em curvas, que 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 também 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 à fraturas e/ou falhas.



As principais características de uma zona homogênea são:

- a) Densidade de elementos texturais e estruturais
- b) Tipo de encosta
- c) Grau de tropia
- d) Assimetria do relevo
- e) Densidade de lineação em série
- f) Refletância ou tonalidade

- a) Densidade de elementos texturais e estruturais  
(Reflete a densidade de encostas)

Elementos texturais

rupturas

encostas

micro-relevo

Elementos estruturais

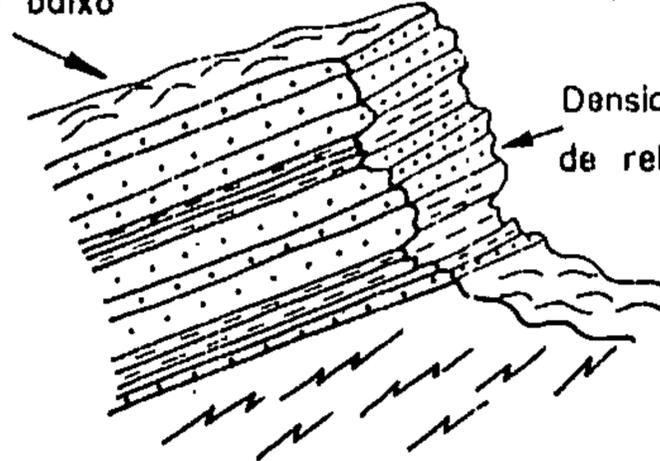
lineações positivas

lineações negativas em feixe

lineações negativas em série

quebras positivas e negativas

Densidade de textura de relevo baixo



Densidade de textura de relevo alto

A densidade de elementos texturais de relevo, se refere a quantidade de elementos texturais numa área. A densidade de elementos textural e estrutural, de uma zona homogênea, reflete a permeabilidade da rocha fotointerpretada. A ausência dessas microfieições ou elementos texturais de relevo, dá uma densidade textural de relevo nula. Então a densidade de elementos textural e estrutural, pode ser: alta, moderada, baixa e nula.

b) Tipo de encosta

Convexa



Côncava



Reta



Horizontal



Quanto a Intensidade, a encosta pode ser classificada em:

Alta



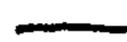
Baixa



Média



Nula



O tipo de encosta reflete a resistência ao intemperismo. Uma encosta completa, é composta por uma parte convexa, uma parte reta e outra côncava. É importante caracterizar o tipo de encosta, que predomina numa zona homóloga.

$I > R$

convexa

I - intemperismo

$R > I$

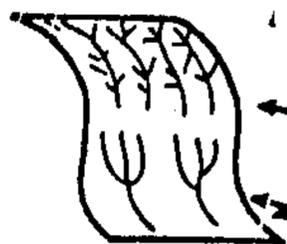
reta

R - erosão

$I \approx R$

côncava

Aspectos da erosão no topo e na encosta do morro



topo-zona de erosão areal

encosta-zona de erosão linear

c) Grau de Tropia

Grau de tropia, é o grau de ordenamento dos elementos estruturais segundo uma tendência (direção). Se trabalha principalmente com a lineação positiva. O grau de tropia, reflete a anisotropia da rocha. A classificação de tropia, segundo a intensidade, pode ser *nula*, quando a rocha não possui lineações positivas e negativas, exemplo: granito isotrópico; *baixa*, quando possui discreto elemento de lineação; *moderada*, quando possui lineações positivas e negativas (feixe), com predomínio de negativas; e *alta*, quando existem lineações positivas e negativas, com predominância de positivas, conforme desenho abaixo.



N-nula



B-baixa



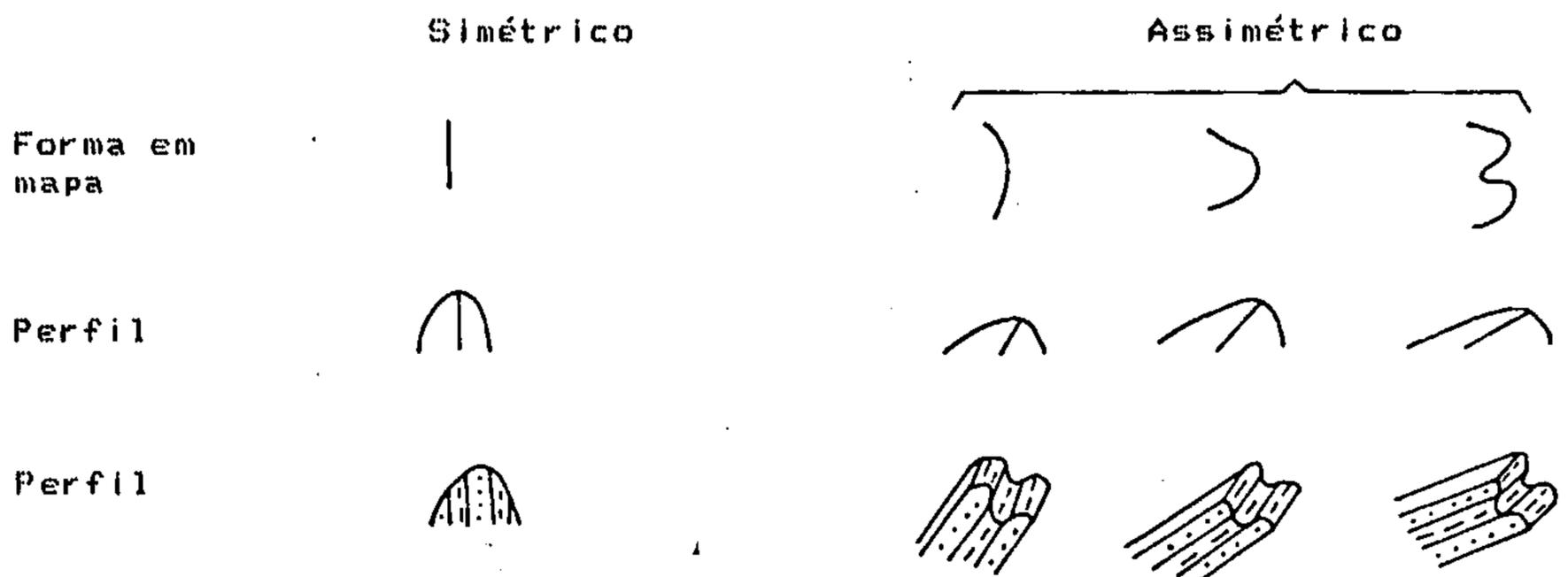
M-moderada



A-alta

#### d) Assimetria do relevo

Considera-se relevo assimétrico, quando as quebras negativas e positivas, separam zonas de declividade maior e menor, ou com propriedades de relevo diferentes, alternadamente. O relevo pode ser classificado quanto à assimetria em:



Como pode ser observado acima, a assimetria reflete o mergulho das camadas.

#### e) Densidade de Lineação em Série

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

#### f) Refletância ou Tonalidade

Reflete o teor de SiO<sub>2</sub> ou de quartzo, e pode também estar relacionada com a intensidade de umidade e vegetação. A zona homóloga mais clara, possui alta refletância, e a mais escura, é a de refletância nula. Então uma zona homóloga, pode ser classificada segundo a refletância em: alta-A, moderada-M, baixa-B e nula-N.

Pelo exposto acima, observa-se que o método lógico-sistemático, trata de forma mais ordenada, os diversos elementos geológicos. Por isso, este método se adapta melhor, para os que possuem pouca prática em fotointerpretação, e fornece importantes subsídios aos que dominam amplamente esta ciência.

### *3.4 Método de Lógica das Chaves*

Uma outra metodologia que pode ser considerada, diz respeito a interpretação de imagens de radar, que requer uma sistemática específica, em vista das características próprias do sensor Radar (Lima, 1987). Em função de tais caracteres, necessário se faz que sejam alcançadas as seguintes etapas: Identificação, Análise e Interpretação.

Este método é denominado de Lógica das Chaves (Lima, 1987).

A identificação consiste no reconhecimento dos elementos que compõem a imagem, e seu significado, o que implica em conhecimento teórico dos princípios do sensor Radar, por parte do intérprete. Por exemplo: identificação de feições antrópicas, drenagem, morros, zonas com vegetação, etc.

A Etapa Análise, segundo Lima (1987), consiste em estabelecer relações entre os "elementos de imagem" já descobertos, associando-se e/ou ordenando-os. Deste modo, um conjunto de feições positivas, pode compor uma crista, da mesma forma, que um conjunto de cristas, devem estar associadas, em vista de sua orientação dominante em determinada direção. Igualmente as feições relativas ao topo de tais feições, suas respectivas encostas, e rede de drenagem associada, podem representar zonas homogêneas ou isomórficas.

O importante nesta etapa, é classificar as formas de relevo em tipos estruturados e não estruturados. Os primeiros são subdivididos em: estruturas planares, lineares positivas e negativas, e tabulares, ao passo que os não orientados, correspondem as formas homogêneas.

As estruturas planares, envolvem formas orientadas, representadas por um plano, ou seja, duas dimensões bem definidas. Representam a interseção da foliação, do acamamento ou dos planos de fratura e cisalhamento com a superfície do terreno.

As estruturas lineares positivas, correspondem as estruturas planares verticalizadas, realçadas pela visada lateral do Radar. Representam os lineamentos e correspondem às estruturas lineares. Por outro lado, as estruturas lineares negativas, podem constituir um traço de drenagem ou simplesmente traço de fratura.

Finalmente, as estruturas tabulares, correspondem à estruturas lineares, cuja delimitação é compatível com a resolução da imagem de Radar. Representam diques, zonas de silicificação, ou então, camada guia.

As formas homogêneas representam os tipos não estruturados.

Finalmente, a Etapa Interpretação, que consiste no agrupamento dos fatos observados na "Análise", visando a descoberta e avaliação por métodos puramente indutivos/dedutivos. Nesta fase, é necessário que o intérprete tenha conhecimento prévio dos parâmetros que procura, tais como: tipos litológicos, dobras, fraturas, lineações, etc.

Em função das características do sensor, Lima (op.cit.) considera a metodologia utilizada para a interpretação de imagens de Radar, faixa das micro-ondas, diferente da adotada nas fotografias aéreas, imagens TM e SPOT, que estão nas faixas do visível, e também, em função das resoluções espacial e radiométrica distintas.

Pelo que foi visto acima, a interpretação geológica em imagens de Radar, deve calcar-se fundamentalmente em aspectos relacionados à feições de relevo e padrão de drenagem, ou seja, morfologia, uma vez que tais parâmetros são bastante realçados neste sensor.

### *3.5 Análise Digital de Imagens*

O método de análise digital de imagens, compreende uma série de técnicas de manipulação numérica, de dados contidos em imagens digitais (Novo, 1989). O processo de transformação em dados digitais, é conhecido por digitalização. Qualquer informação, pode em princípio, ser digitalizada. As fotografias aéreas podem ser digitalizadas e processadas em computadores. A grande quantidade de dados gerados pelos sistemas imageadores, cada vez com maior número de canais ou bandas, tornando mais complexa e subjetiva a sua interpretação, tem requerido a utilização do processamento digital, como forma de auxiliar e eliminar parte da subjetividade inerente ao fotointérprete.

Para que uma imagem seja analisada digitalmente, é necessário dispor de Sistemas de Análise de Imagens Digitais, que englobam um sistema de processamento ("hardware"), e programas de manipulação de dados ("software").

As técnicas de processamento de imagens digitais, envolvem: preparação de imagens, técnicas de realce e técnicas de classificação.

A preparação de imagens, consiste em corrigir erros sistemáticos, e de calibração radiométrica (atenuação atmosférica, correção radiométrica).

As técnicas de realce, objetivam melhorar o aspecto visual das mesmas.

Já as técnicas de classificação, são baseadas em análise e reconhecimento estatístico de padrões radiométricos de imagens. Ou seja, trata do reconhecimento de objetos da cena, a partir da análise quantitativa dos níveis de cinza.

As técnicas de processamento digital, podem realçar mais ainda, as propriedades diagnósticas de discriminação das rochas, gerando combinações coloridas de "n" tipos, a partir de imagens originais e transformadas. As propriedades analisadas, inerentes às imagens para discriminação das rochas, são o brilho, a radiância e as relações espaciais das formas.

Portanto, as pesquisas através das técnicas de processamento digital e do uso das propriedades espectrais da superfície do material, como maneira de identificar, discriminar e classificar alvos naturais, são a atual meta do Sensoriamento Remoto.

#### IV - ANÁLISE GEOMORFOLÓGICA

A geomorfologia, que tem por objetivo estudar as formas de relevo, está relacionada principalmente com a litologia, a estrutura e as condições climáticas de uma região. Assim, o relevo é o produto da resistência à erosão, ou da susceptibilidade de algum tipo de rocha ao intemperismo.

Os fatores morfogenéticos, são os responsáveis pela elaboração das formas de relevo e da rede de drenagem.

Grande parte das observações geológicas, seja no campo, ou nas imagens dos sensores remotos, são feitas através da análise do relevo, que é uma das condicionantes mais importante da imagem.

Muitas expressões morfológicas, podem ser identificadas simplesmente com base na forma. Cada tipo de rocha, cada fratura e cada feição erosional ou deposicional, produzem modelos próprios, embora não necessariamente únicos.

Por isso, a fotointerpretação deve ser feita lendo-se na imagem aérea, a mensagem fisiográfica, que é composta intimamente de variados aspectos do relevo. As expressões fisiográficas de uma unidade litológica, e a constância dessas expressões, é fundamental em mapeamento geológico, em virtude de um ponto verificado em campo, poder ser estendido a outras partes dessa mesma unidade. Assim, durante a fotointerpretação, é aconselhável analisar cuidadosamente as formas de relevo, e associa-las não só, com as rochas subjacentes, mas também com as estruturas que envolvem as mesmas. Uma mesma rocha, pode apresentar feições morfológicas, distintas, a depender de sua posição na estrutura, se está no núcleo, ou no flanco da dobra.

De uma forma geral, cada litologia possui um relevo característico, como por exemplo, uma rocha sedimentar, constitui uma área plana. Se uma região possui grande variabilidade de relevo, é de se esperar também, intensa variabilidade litológica. Portanto, é importante assinalar as mudanças geomorfológicas que ocorrem numa região, que podem estar relacionadas com as variações de rochas. Se na mesma área, um determinado tipo litológico, apresenta formas topográficas diferentes, é bom observar se a causa dessa diferença morfológica, não é em decorrência de fatores estruturais (fraturamentos, falhas, lineações), faciológicos ou aspectos intrínsecos a própria rocha.

Dessa forma, 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. As rochas competentes, tipo quartzito e granito, oferecem mais resistência aos processos erosivos, do que as litologias com menos competência, tipo filito e xisto. Uma sequência de rochas composta por quartzitos e filitos, gera um relevo de cristas e vales, em função da erosão diferencial sobre esses

materiais. Assim, observa-se frequentemente, em domínios sedimentares ou metassedimentares, escarpas formando limites entre as unidades litológicas.

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

#### 1 - Fatores de resistência

##### Presença de:

K-feldspato  
Minerais claros  
Quartzo

##### Ausência de:

Biotita  
Minerais escuros

#### 2 - Fatores de fraqueza

##### Presença de:

Biotita  
Minerais escuros

##### Ausência de:

K-feldspato  
Minerais claros  
Quartzo

A granulometria das rochas sedimentares, influencia no sentido de aumentar ou diminuir a porosidade da mesma, facilitando a penetração de água, que contribuirá para a ação do intemperismo químico.

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, onde a precipitação pluviométrica é alta, e o intemperismo químico é acentuado. Um calcário em um clima seco, forma feições positivas, ao passo que em clima úmido, sua morfologia é ondulada e com um grande número de dolinas.

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

##### Intemperismo Mecânico

Baixa porosidade  
Granulação não uniforme  
Rochas compactas  
Rochas plutônicas  
Quartzitos

##### Intemperismo Químico

Alta porosidade  
Granulação uniforme  
Rochas não compactas  
Rochas foliadas  
Calcários

As estruturas geológicas têm uma importância decisiva na topografia de uma região. Quer esteja associada à estrutura interna de cada rocha (planos de estratificação, planos de foliação, fraturas), ou às deformações relacionadas aos dobramentos e falhamentos, ou mesmo, às intrusões diapíricas, "stocks" e diques.

Assim, em um terreno fraturado, a água correrá principalmente ao longo dessas fraturas, facilitando a modelagem da topografia.

Nas regiões de sequências dobradas, a topografia oferece valiosa ajuda, não só, na identificação das diversas estruturas geológicas, como também na indicação das atitudes litológicas e individualização de camadas guia (figura 4.1).

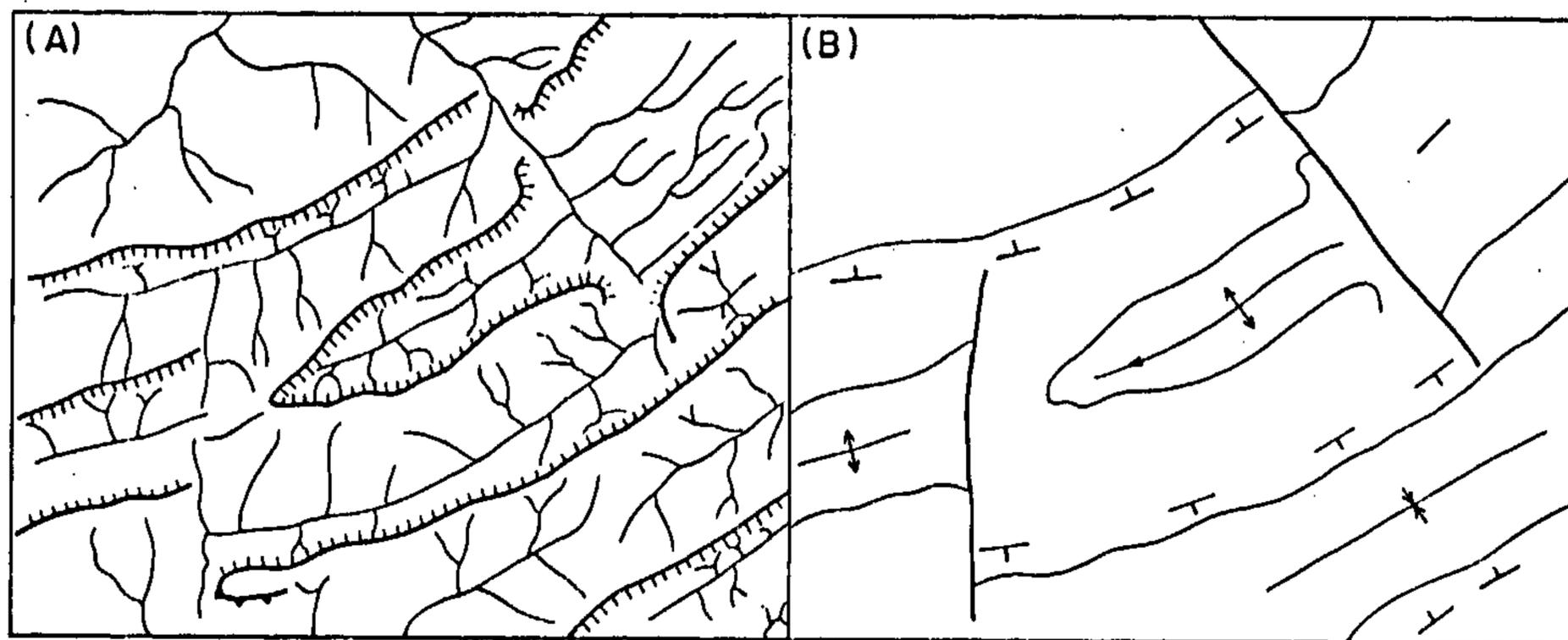


Figura 4.1 - Modelo interpretativo a partir do relevo e da drenagem. A parte (A) mostra a forma do relevo e o padrão da drenagem, enquanto a parte (B) exibe a interpretação geológica. Modificado de Soares & Fiori (1976).

#### 4.1 Grandes Feições Morfoestruturais

Os processos que dão origem às formas de relevo, são inerentes a cada região. Para entender essas formas de relevo, e os processos que atuaram sobre ele, é necessário analisar melhor as características das grandes feições morfoestruturais. As feições morfoestruturais são as seguintes: Bacias Sedimentares, Cadeias Dobradas, Blocos Falhados, Maciços Homogêneos, Relevo Vulcânico, Montanhas Complexas e Planícies.

##### 4.1.1 Bacias Sedimentares

O relevo das Bacias Sedimentares, é muito parecido em todo mundo. São áreas com tendência a serem planas, em função das camadas horizontais (figura 4.2). De uma forma geral, as rochas sedimentares que formam as bacias, são mais resistentes à erosão que as litologias

do substrato, acarretando como consequência, as escarpas, que são denominadas de *cuestas*. São compostas essencialmente por calcários, arenitos, conglomerados, siltitos e argilitos.

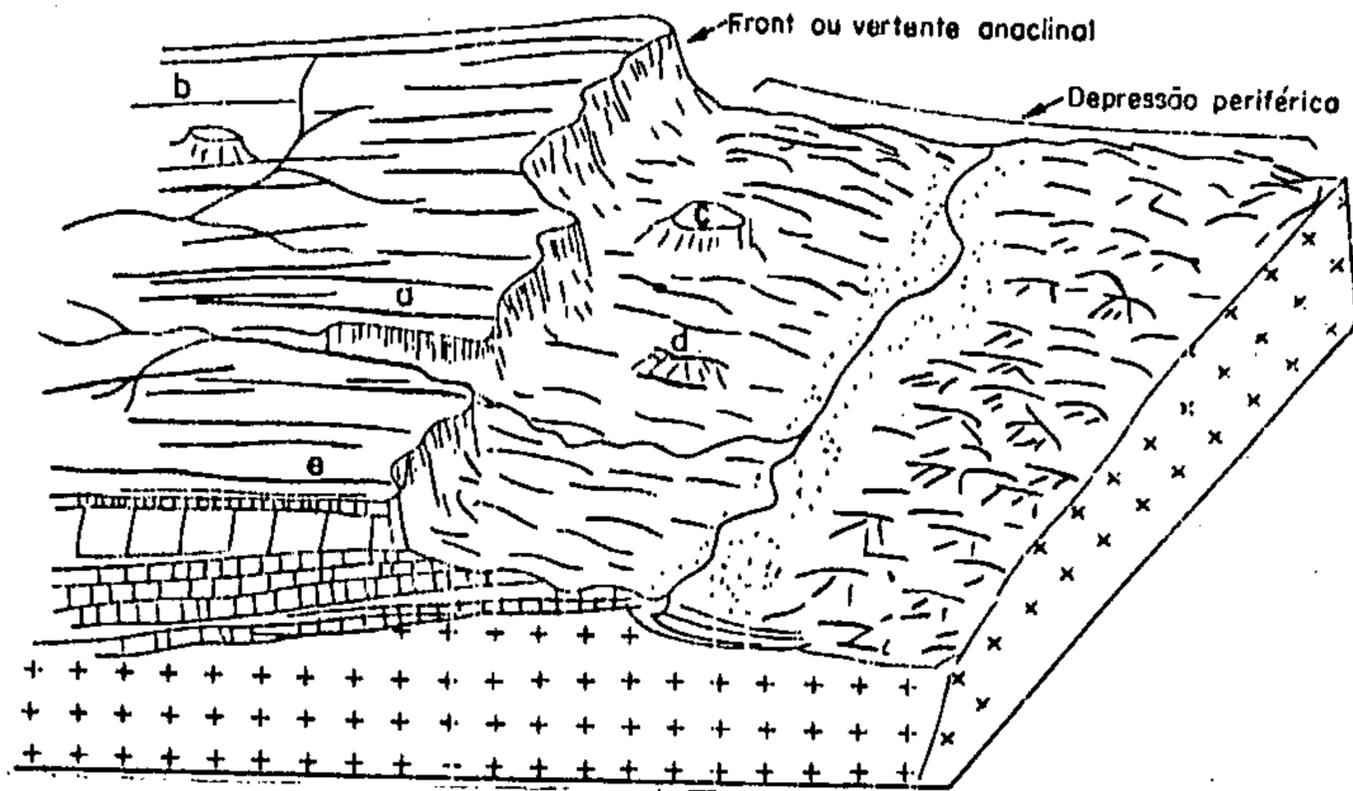


Figura 4.2 - Morfologia da Bacia Sedimentar, apresentando relevo tabular. (a) Vale cataclinal, (b) testemunho de cimeira, (c) morro testemunho, (d) morro residual e (e) cornija.

Os calcários apresentam um relevo chamado cárstico, que é proveniente da dissolução da própria rocha. Também em função da dissolução, as camadas geralmente exibem bordas suaves e arredondadas. As dolinas, cavernas e rios subterrâneos, são as principais características dos terrenos portadores de calcários.

Os arenitos são rochas em geral de resistência média, aos fenômenos erosivos. Contudo, o relevo sobre esse tipo de rocha, depende essencialmente de sua composição mineralógica. A característica principal é a presença de uma nítida estratificação, que pode ser seguida por quilômetros. Os bordos das camadas são contínuos, e quase sempre, dentados e angulosos. Apresentam relevos tabulares, com rios frequentemente encaixados e seus limites com outras litologias, é realizado em geral através de escarpas.

Alguns arenitos podem formar cavernas, ocasionadas por propriedades específicas. Também são frequentes os relevos ruiformes, gerados por circulação de água pluviométrica.

Os argilitos e siltitos, por serem rochas com baixa resistência aos fenômenos erosivos, geralmente constituem depressões. Possuem baixa permeabilidade, razão pela qual, a drenagem é externa e com alta densidade.

Mostram relevo suave e com vales largos, dentro dos quais correm os tributários provenientes das camadas mais resistentes.

#### 4.1.2 Cadeias Dobradas

As Cadeias Dobradas, são áreas onde as camadas encontram-se dobradas, e intensamente falhadas, compondo um relevo de cristas e vales, onde grande parte dos rios estão controlados por fraturas e/ou falhas.

São distinguidos os seguintes relevos de Cadeias Dobradas: Relevo Jurássico, Relevo Apalachiano, Relevo Alpino e Relevo Dômico.

Os três primeiros tipos, são caracterizados por sucessivas alternâncias de cristas e vales paralelizados. As serras de Jacobina na Bahia e a do Espinhaço entre Bahia e Minas Gerais, são exemplos de relevo do tipo Apalachiano (figura 4.3B).

Essas serras, são compostas principalmente por alternância de quartzitos, filitos e xistos.

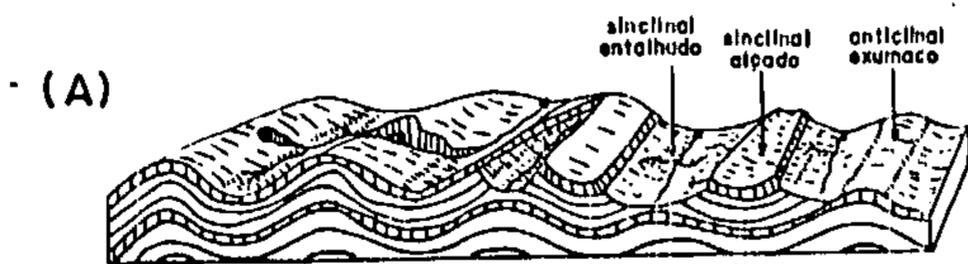
Os quartzitos por serem rochas de alta resistência aos fenômenos erosivos, apresentam relevo forte, composto por cristas com terminações arredondadas ou agudas, representando a estratificação original. O perfil transversal da crista, mostra frequentemente forma assimétrica, cujo lado mais suave, reflete o sentido do mergulho da camada. Em função da intensidade dos fenômenos tectônicos, a estratificação nem sempre mostra-se com clareza nas imagens de sensores remotos, estando muitas vezes paralelizada com as superfícies "S". Em algumas áreas, os quartzitos podem ser diagnosticados pelo intenso fraturamento, o qual também é indicativo de camada competente.

Os filitos e xistos, que compõem essa paisagem serrana, apresentam relevo mais suave que os quartzitos, embora localmente existam formas íngremes de divisores de águas. As formas de relevo, podem ser suaves e arredondadas em climas úmidos, mas, em condições áridas ou semi-áridas, mostram uma forte topografia. Apresentam-se em geral através de morros alongados, segundo o "trend" regional, e com terminação suave.

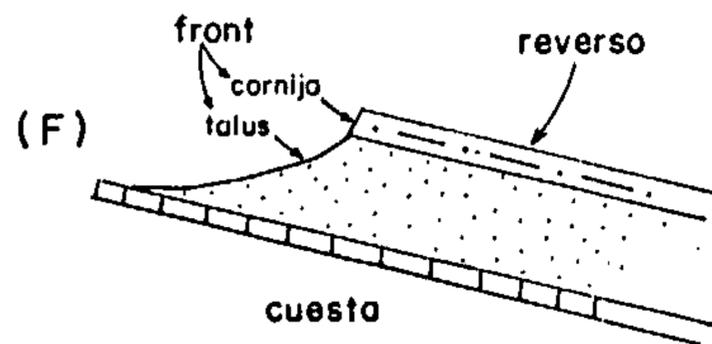
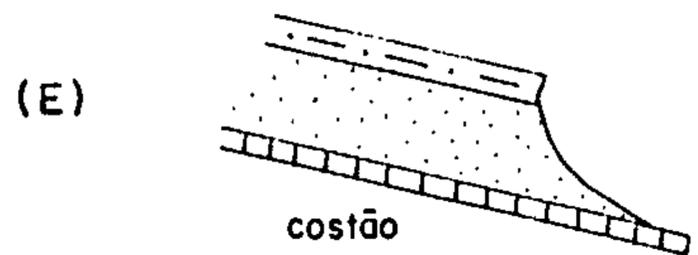
O relevo tipo Alpino, característico de grandes cadeias, como os Alpes, Andes e Himalaia, exhibe uma topografia acentuadamente forte, com escarpas provenientes de falhas.

O relevo tipo Dômico, é uma área soerguida, formada por suaves cristas com mergulho para a parte externa da estrutura. Pode ser pequena, ou atingir grandes dimensões. A drenagem é centrífuga, visivelmente controlada pela estrutura (figura 4.3C).

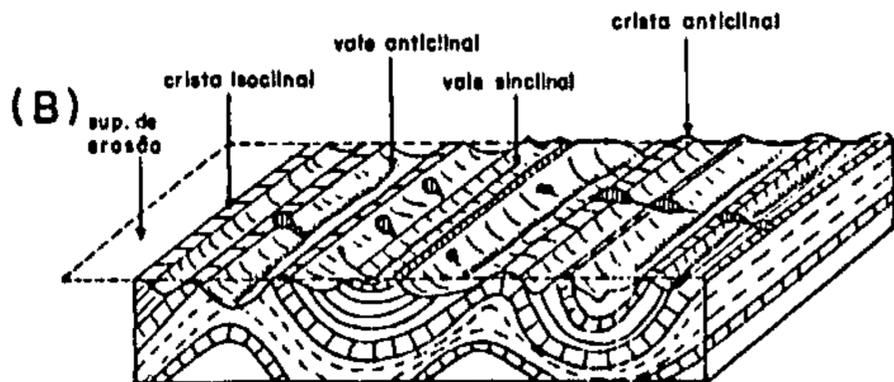
O relevo tipo Jurássico, apresenta vales abertos e cristas pouco expressivas, formando no geral uma topografia suave (figura 4.3A).



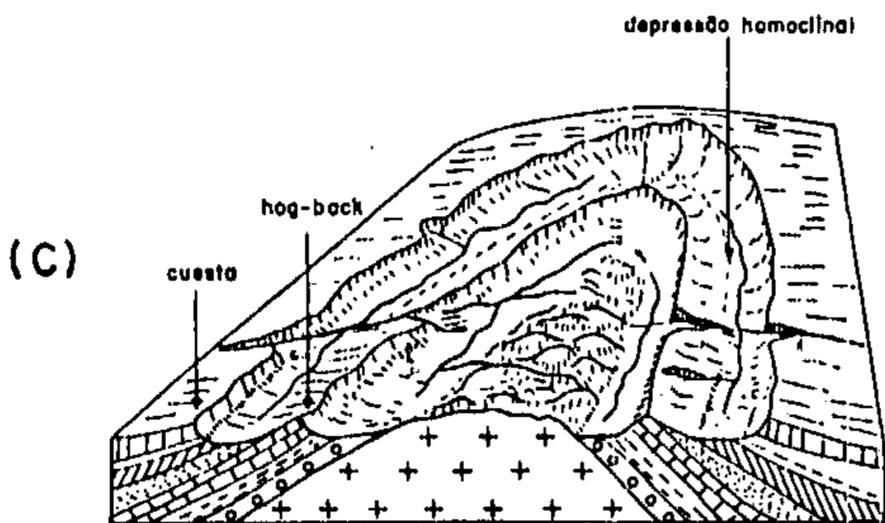
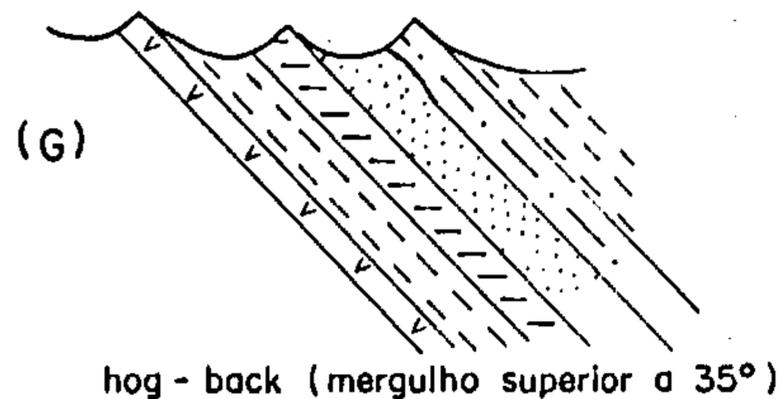
Relevo Jurássico



cuesta



Relevo Apalachiano



Domo maduro com drenagem radial e anelar.

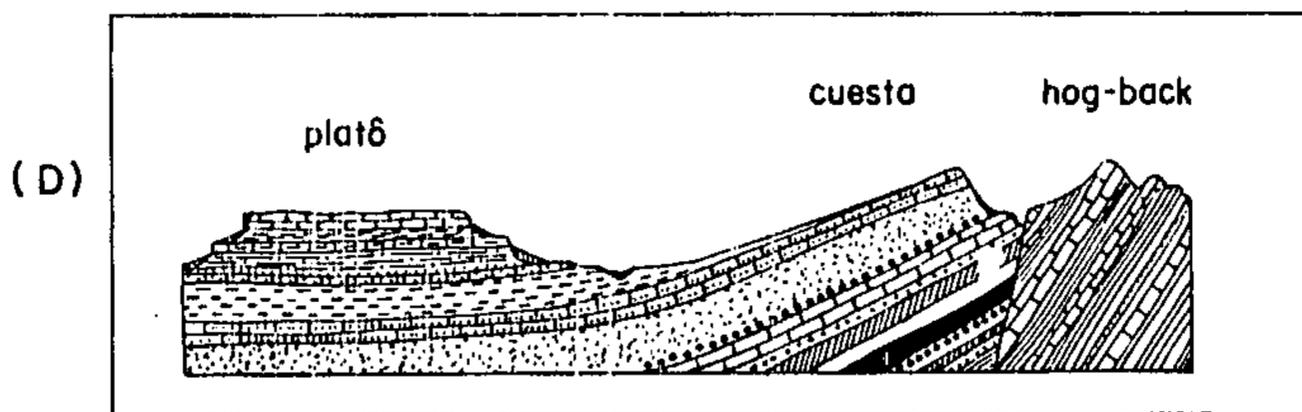
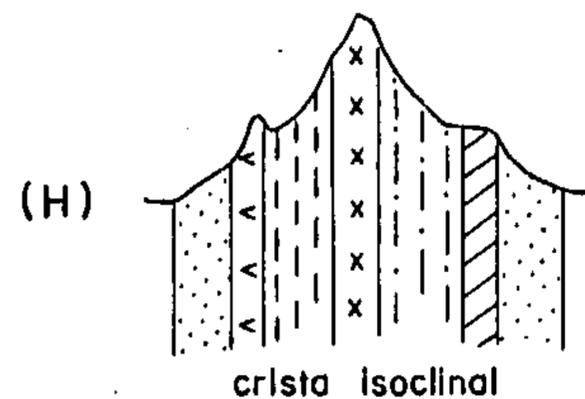


Figura 4.3 - Feições morfoestruturais. (A) Relevo Jurássico; (B) relevo Apalachiano; (C) relevo Dômico; (D) bloco falhado apresentando platô, cuesta e hog-back; (E) costão; (F) cuesta; (G) hog-back e (H) crista isoclinal.

#### *4.1.3 Blocos Falhados*

O relevo de Blocos Falhados, que constitui uma feição morfoestrutural, é formada principalmente por fenômenos de falhamentos existentes na região. Assim, a tectônica controla a forma topográfica, deixando alguns blocos soberguidos e outros rebaixados. Provavelmente as serras do Mar e da Mantiqueira, são exemplos desse tipo de relevo.

#### *4.1.4 Maciços Homogêneos*

O relevo de Maciços Homogêneos, constitui uma área elevada, de aspecto homogêneo e sem grande variação litológica. Gnaisses, migmatitos e granitos, que são as rochas dominantes, apresentam alta resistência aos processos intempéricos. Partes da serra do Mar e a serra de Friburgo, são exemplos de relevo de Maciços Homogêneos.

#### *4.1.5 Maciços Vulcânicos*

O relevo de Maciços Vulcânicos, é melhor caracterizado pela presença de cones vulcânicos.

Os diques as vezes formam pequenas cristas ou sulcos, a depender do grau de resistência dos mesmos, aos fenômenos erosivos.

#### *4.1.6 Montanhas Complexas*

O relevo de Montanhas Complexas, é aquele que está influenciado por vários fatores, ou seja, é a consequência da associação de falhas, camadas dobradas, maciços homogêneos e maciços vulcânicos.

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

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

A planície costeira, está localizada ao longo do litoral, com destaque para a topografia dos costões, rios, mangues, dunas, restingas e falésias.

A planície fluvial, que é paralela aos grandes rios, é formada pela acumulação de material. Em geral, esses vales são abertos, ou em forma de U, onde depositam-se as aluviões, constituídas por cascalhos, areias e argilas.

Os pediplanos constituem extensas áreas arrasadas, onde afloram as rochas do embasamento. São limitados por elevações portadoras de material coluvionar. Os rios que circulam, podem conter aluviões. O pediplano surge como uma superfície mais ou menos plana, sob condições de clima seco. No nordeste do Brasil, onde ocorre o clima semi-árido, existe o desenvolvimento de depioplanos, compostos por grandes áreas, nas quais estão expostos principalmente gnaisses, migmatitos e granitos, além das sequências do tipo "greenstone belt".

Nessas áreas, os gnaisses (paragnaisses e ortognaisses) e migmatitos, formam grandes lajedos, os quais são distinguidos nas imagens pela tonalidade clara, fraturados, e orientados segundo o "trend" regional. Os gnaisses bandados, incluindo os metatexitos, são identificados pela maior densidade de lineações, que se concentram geralmente em faixas. Por serem rochas heterogêneas, e susceptíveis aos processos erosivos, os lajedos são mais raros.

Já os diatexitos, que são litótipos mais homogêneos, e com mais resistência aos fenômenos intempéricos, exibem frequentemente lajedos. Esses diatexitos ou granitos de anatexia, apresentam muitas vezes, formas arredondadas, com, ou sem lineações visíveis, e frequentemente constituem "inselbergs".

Os ortognaisses também formam lajedos, e exibem uma lineação descontínua e espaçada.

Na feição morfoestrutural de relevos arrasados, são encontrados ainda os terrenos do tipo greenstone belt, e conjuntos litológicos similares.

As sequências do tipo greenstone belt e similares, são identificadas nas imagens aéreas pela morfologia suave, ressaltando algumas elevações, e pela tonalidade de cinza médio a cinza escuro. Os metassedimentos em geral, pelíticos, e as rochas vulcânicas que compõem essas sequências, são susceptíveis aos agentes intempéricos, daí possuírem relevos suaves.

Os conjuntos litológicos que são similares aos greenstone belts, são constituídos por metabasitos, metaultrabasitos, calcissilicáticas, formações ferríferas e quartzitos ou cherts. Possuem relevo forte, com destaques para as cristas de quartzitos, associados com calcissilicáticas e formações ferríferas, como acontece nas serras das Éguas e Guajerú na Bahia. Em geral, essas sequências apresentam solos vermelhos, ricos em ferro, o qual absorve a radiação solar, fornecendo tonalidade cinza médio a cinza escuro, bem típico dessas rochas.

Os granulitos que estão incluídos na unidade morfoestrutural de relevos arrasados, apresentam-se nas imagens de sensores remotos, com feições morfológicas semelhantes aos dos gnaisses. Conseqüentemente, a forma do relevo, também poderá variar em função da composição mineralógica, arranjo interno e condições climáticas.

#### 4.2 Elementos Morfoclimáticos

Os gnaisses de uma forma geral, podem assumir maciços montanhosos, com relevos fortes, a depender não só, de sua composição mineralógica e organização interna, mas também pelos fatores climáticos. Em climas moderados, a forma alongada dos morros, é a principal distinção dos gnaisses, em relação aos migmatitos e granitos, embora isso não seja um fator decisivo.

Os granitos (incluindo também os granodioritos, sienitos e dioritos), por serem rochas plutônicas e homogêneas, formam geralmente corpos maciços, soerguidos, e com forma circular ou alongada. No clima semi-árido, os lajedos são constantes, tornando nítidas as lineações, que são descontínuas e espaçadas, pelo fato dessas rochas assimilarem com menos intensidade, os processos deformacionais.

Em clima árido, os granitóides assumem formas agudas e serrilhadas, mas também podem apresentar planícies de areia, nas quais existem afloramentos isolados, com lajedos ou "inselbergs". Nas encostas das elevações, são frequentes a presença de matacões, os quais fornecem textura rugosa nas imagens. No nordeste de Minas Gerais, fronteira com a Bahia, e na região de Currais Novos, no Rio Grande do Norte, essas rochas formam morros pelados, tipo pão de açúcar.

Já em clima úmido, os terrenos graníticos são lisos e com formas arredondadas. Quando fraturados, mostram formas típicas em losango. Ainda no clima úmido, essas rochas não são muito resistentes, e a topografia pode ser rebaixada. Desenvolve um solo espesso, ou um manto de alteração profundo, através dos quais se projetam afloramentos isolados, frequentemente com formas arredondadas.

Portanto, 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.

#### 4.3 Morfologia de Intrusões Circulares

Na região amazônica, Lima (1979) identificou nas imagens de radar, várias intrusões circulares, a maioria delas apresentando relevo. As principais características estabelecidas pelo autor foram as seguintes:

a) Nas intrusões ácidas, as formas são aproximadamente circulares, havendo no entanto, exemplos em forma de "oito" ou então, em disposições ovóides e elípticas. Apresentam morros com topo abaulado, geralmente isento de vegetação, com disposição circular, acompanhando o limite da estrutura. O capeamento laterítico, quando presente, não é muito espesso, sendo por isso, raro a presença de lagos no topo dessas estruturas. Predominam três direções de

fraturamento, inclusive com fraturas circulares que limitam as mesmas. Fraturas radiais, também podem ocorrer, contudo, duas delas são mais visíveis, compondo a classicamente conhecida "cruz de granito", que mostram padrão diferente das rochas encaixantes.

b) Nas intrusivas intermediárias, a morfologia é ovóide, e podem apresentar lagos, espessa laterização e colúvios. Os morros são abaulados, com formas alongadas e disposição elíptica. Fraturamento em duas direções bem pronunciado.

c) As intrusivas básicas, mostram-se geralmente com forma elítica, podendo apresentar-se em forma de "oito". Os morros são em geral de topo plano, abaulado, com capa laterítica. Os vales de drenagem são encaixados e a tonalidade é cinza escuro. O fraturamento é pouco distinto, em vista do mascaramento por processo de laterização, sendo comum a presença de lagos no topo.

d) As intrusivas ultrabásicas, formam platô, devido ao grande espessamento de lateritos. Apresentam lagos e clareiras naturais, bem distintos nas imagens, e geralmente exibem forma circular ou em "oito". Os vales de drenagem são encaixados e a tonalidade é cinza escuro.

e) Os carbonatitos apresentam-se com características semelhantes às intrusivas básicas e ultrabásicas, porém com diâmetro menor. Mostram forma circular, espesso manto de laterização (mais do que 250m) e exibem a presença de lagos.

Portanto, conforme observamos neste capítulo, a análise geomorfológica de uma região é fundamental, não só no sentido de identificar os conjuntos litológicos, mas também na definição e compreensão das feições morfoestruturais.

## V - ANÁLISE ESTRUTURAL

A análise estrutural tem por objetivo principal, estudar as deformações que foram submetidas as rochas, através das formas, atitudes e modo de ocorrência das mesmas. Trata também da geometria interna das rochas, que pode fornecer informações sobre a origem e modo de colocação dos corpos ígneos.

As rochas apresentam-se sob as mais variadas formas e configurações, desde camadas tabulares, de origem sedimentar, até maciços homogêneos, de caráter ígneo.

### 5.1 Camadas Guia

Camadas resistentes, e que são formadoras de relevo, tais como arenito, quartzito, e, sob certas condições, calcário, formam boas camadas guia. Entretanto, qualquer camada que possa ser traçada ao longo de uma área suficientemente grande, e que tenha características marcantes nas imagens, tais como, tonalidade contrastante, vegetação típica, solo específico, resistência notavelmente baixa e conseqüentemente relevo negativo, bem como, padrão de drenagem característico, pode ser considerada uma boa camada-chave. Essas camadas, são importantes nas interpretações de áreas sedimentares, pois, muitas delas, estão assinalando os limites da formação, ou níveis dentro da unidade (figura 5.1).

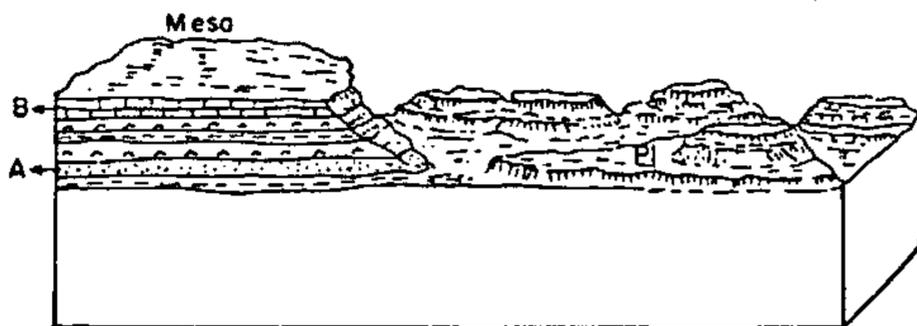


Figura 5.1 - Expressão topográfica de camadas horizontais. Observa-se na figura, duas camadas mais resistentes (A) e (B). A camada (A) forma suaves superfícies planas (PL). A outra camada (B), constitui um "platô" na parte esquerda da figura. Modificado de Vergara (1971).

### 5.2 Atitude de Camadas

A atitude das camadas, é determinada pela assimetria do relevo (figura 5.2). Ou seja, uma camada com mergulho suave, possui alta assimetria, já uma vertical, o relevo é simétrico. Especialmente em áreas sedimentares, onde a estratificação é observada com clareza, a atitude das camadas é prontamente determinada. Portanto, camadas

horizontais, ou com mergulhos, podem ser determinadas pela forma do afloramento em superfície, e pelas suas relações com as curvas de nível.

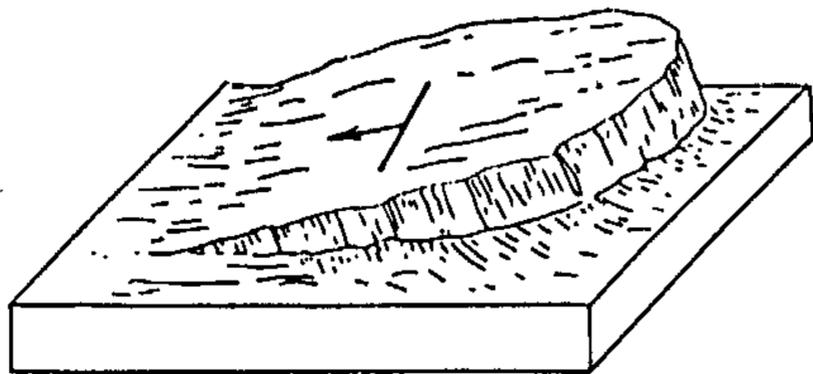


Figura 5.2 - Forma topográfica com perfil assimétrico, indicando o sentido do mergulho da camada. Modificado de Vergara (1971).

### 5.3 Camadas Horizontais

As camadas horizontais fornecem sempre relevo tabular (figura 5.1), e são paralelas as curvas de nível. Por isso, é aconselhável utilizar mapas contendo curvas de nível em áreas sedimentares, para facilitar o traçado dos contatos, e compreender melhor a distribuição espacial das formações. Os níveis destacados nas aerofotos, devem ser perseguidos ao longo de toda sua extensão, alguns deles, representados por patamares.

Os limites entre as unidades litológicas horizontais, ou com baixo ângulo de mergulho, são em geral, reentrantes, enquanto nas sequências verticalizadas, os contatos são mais ou menos retos.

### 5.4 Camadas Dobradas

As estruturas dobradas, que frequentemente estão associadas com falhamentos e empurrões, podem ser deduzidas pela repetição de camadas com mergulhos opostos, exceto em dobras isoclinais, nas quais os estratos mergulham no mesmo sentido. Uma dobra pode apresentar eixo horizontal, ou com mergulho, identificado nas imagens pela atitude das camadas e pela feição morfológica (figura 5.3).

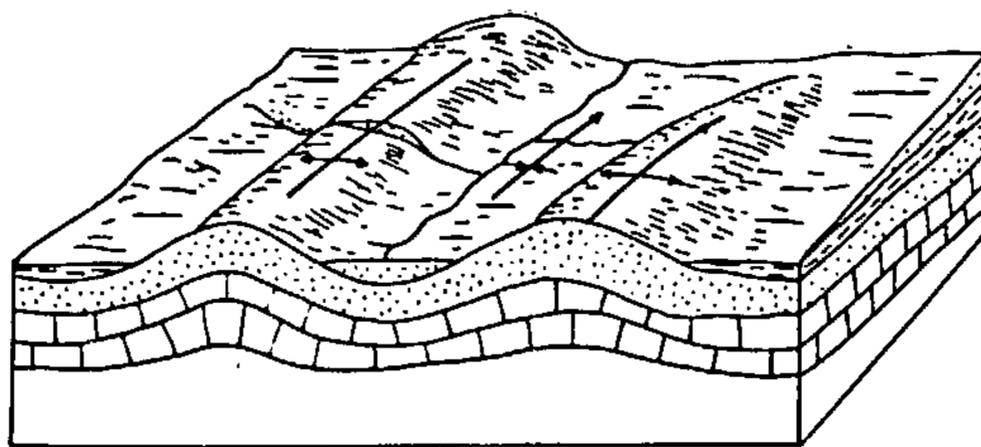


Figura 5.3 - O bloco diagrama mostra dois anticlinais com as charneiras expostas. O da esquerda, possui eixo horizontal, e a da direita, eixo com caimento indicado. Modificado de Vergara (1971).

Assim, ambos os flancos de uma dobra, formam faixas lineares ou curvas, opostas em atitude. Diferenças na largura de área aflorante, entre os dois flancos, podem estar indicando um aumento de mergulho do flanco mais estreito, ou diminuição na espessura da camada, como mostra a figura 5.4.

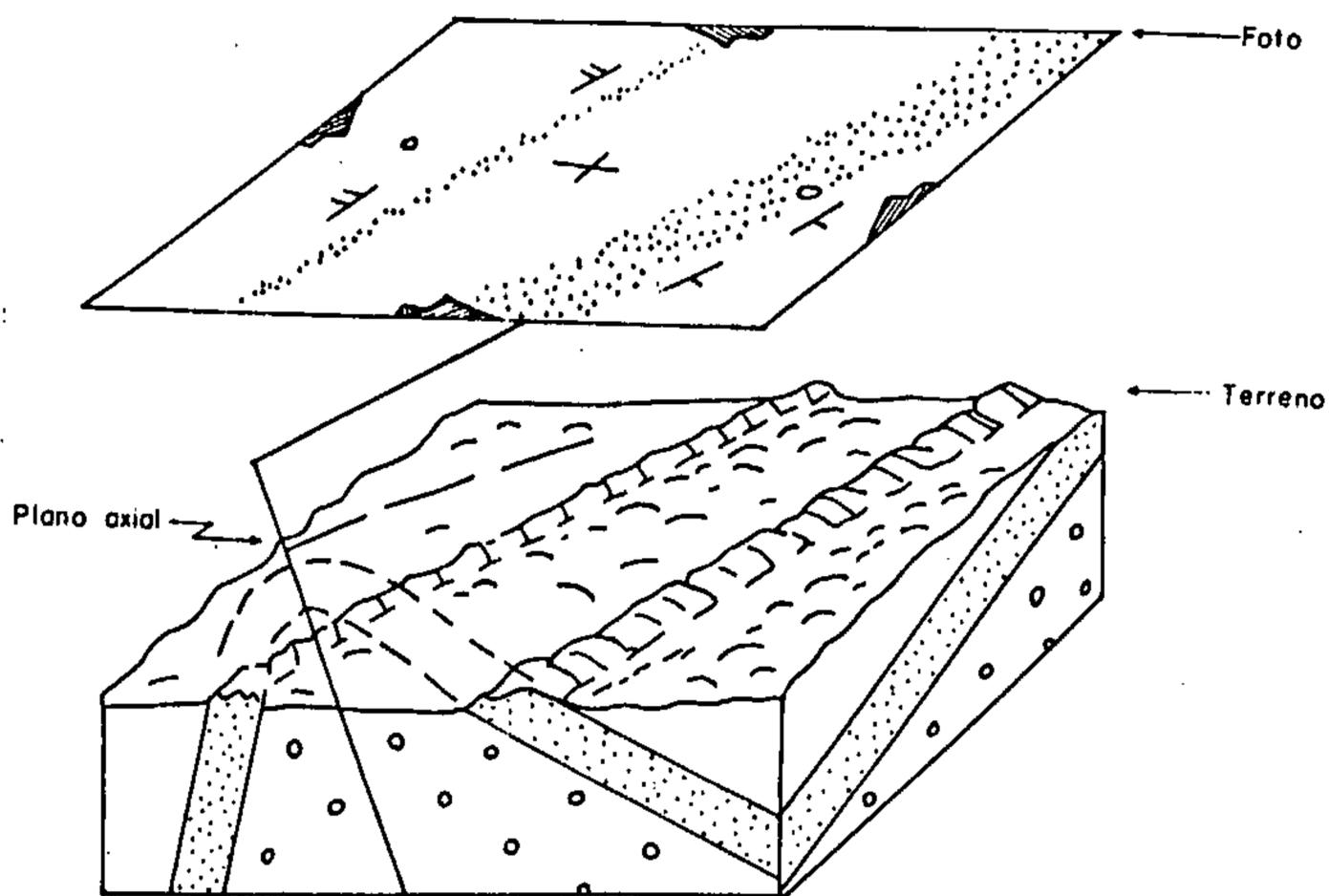


Figura 5.4 - Diferença na área aflorante entre os dois flancos, em função da assimetria da dobra. Modificado de Pedreira (1986).

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.

Durante a interpretação de imagens aéreas, é recomendável se referir às dobras, como antiformes e sinformes, desde quando as relações estratigráficas não estejam estabelecidas.

Nas sequências contendo redobramentos, estes são difíceis de serem individualizados com clareza nas imagens. Contudo, em alguns casos, pode-se traçar com precisão as lineações, e a partir delas, identificar o padrão de interferência.

## 5.5 Discordâncias

Segundo Vergara (1971), 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. Geralmente é necessário a comprovação de campo, para ratificar a existência da mesma.

Contudo, a discordância angular pode ser observada através da fotografia aérea, obedecendo os seguintes critérios:

- (1) Presença de uma sequência litológica, depositada discordantemente sobre outra.
- (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, quando as camadas horizontais ou ligeiramente inclinadas, estão depositadas sobre outras mais antigas, de mergulho forte.

Com relação aos outros dois casos, a discordância pode ser confundida com dobramento ou falhamento. No caso da dúvida com dobramento, é indispensável uma comprovação de campo, para saber se as camadas situadas em ambos os lados da discordância, pertencem ou não, a mesma formação.

No caso de dúvida, entre a linha de discordância e uma falha, Vergara (1971) assinala o seguinte:

- 1º - A linha de discordância se caracteriza por um traço irregular, adaptando-se a topografia da área. Portanto, se a discordância mostra uma linha reta, ou uma ampla curvatura, é mais provável que seja uma falha.
- 2º - Se as formações mais antigas, aparecem sobrepostas sobre as mais recentes, o contato provavelmente é efetuado por falha.

Na dúvida entre discordância angular e falha de empurrão, isto pode ser discernido pela análise das imagens, ao longo da direção das camadas. Na falha de empurrão, as direções das camadas se tornarão paralelas, em algum ponto ao longo da mesma, além de existir uma tendência a formar relevo, em função do imbricamento das camadas.

## 5.6 Ordem e Grau das Estruturas

Entende-se por estrutura, um arranjo ordenado de elementos texturais, os quais podem estar assinalados pela drenagem, lineações ou relevo.

Nas imagens de sensores remotos, algumas dessas estruturas estão bem evidentes, enquanto outras mostram-se discretas.

Alinhamento, é o traçado ordenado de elementos estruturais em linha. Os alinhamentos ordenados podem ser, lineações positivas, lineações negativas ou quebras de relevo.

Toda estrutura possui um conteúdo e uma forma. O conteúdo são lineações positivas, negativas ou quebras de relevo. A forma pode ser circular, elíptica, etc. Numa estrutura ainda existem outros elementos, que são a ordem de estruturação e o grau de estruturação.

Segundo Soares & Flori (1976), a ordem de estruturação (ou grandeza) 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 ordenação, como no caso de disposição em linha reta de elementos texturais. O grau de estruturação (ou intensidade) refere-se à regularidade de organização dos elementos texturais; assim, dizemos que uma forma é fracamente estruturada, quando a lei de ordenação é mal definida, pouco regular, ou pouco precisa; e fortemente estruturada, em caso de disposição regular ordenada (figuras 5.5, 5.6 e 5.7).

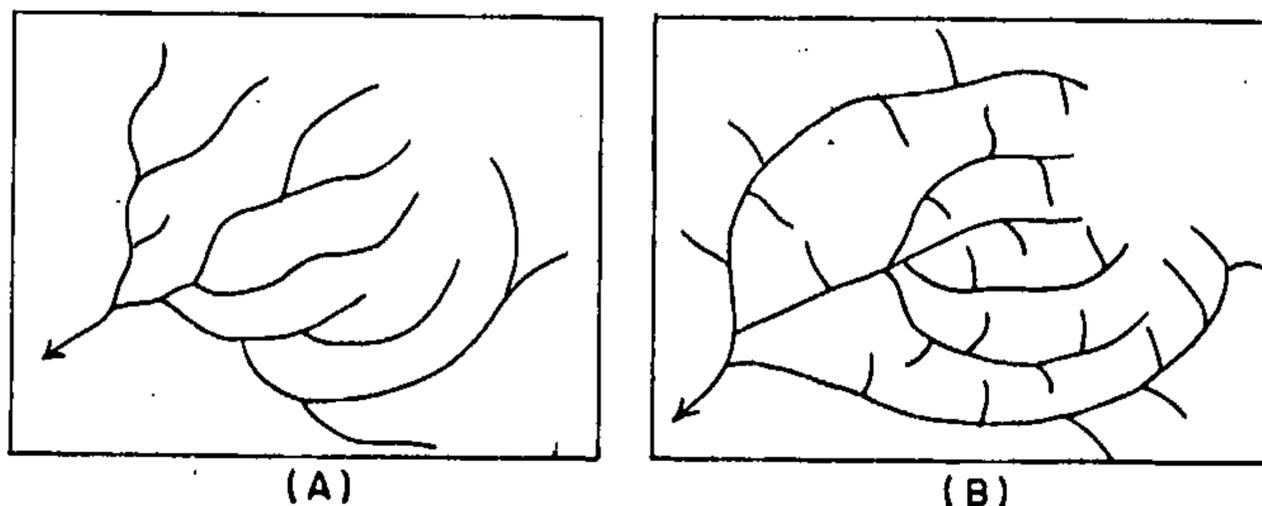


Figura 5.5 - Estruturas de drenagem.

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

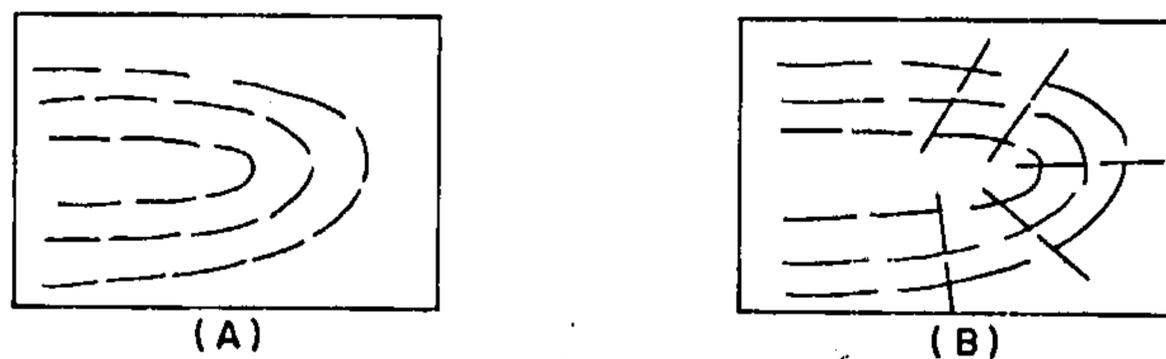


Figura 5.6 - Estruturas de lineação. Em (A), estrutura de 1ª ordem e em (B), estrutura de 2ª ordem.

Pode-se dizer que, quanto maior é o grau e a ordem de estruturação dos elementos texturais em uma forma, menor a possibilidade de ser casual. Ou seja, uma estrutura de 2ª ordem, tem mais probabilidade de refletir uma feição geológica, do que uma estrutura de 1ª ordem.

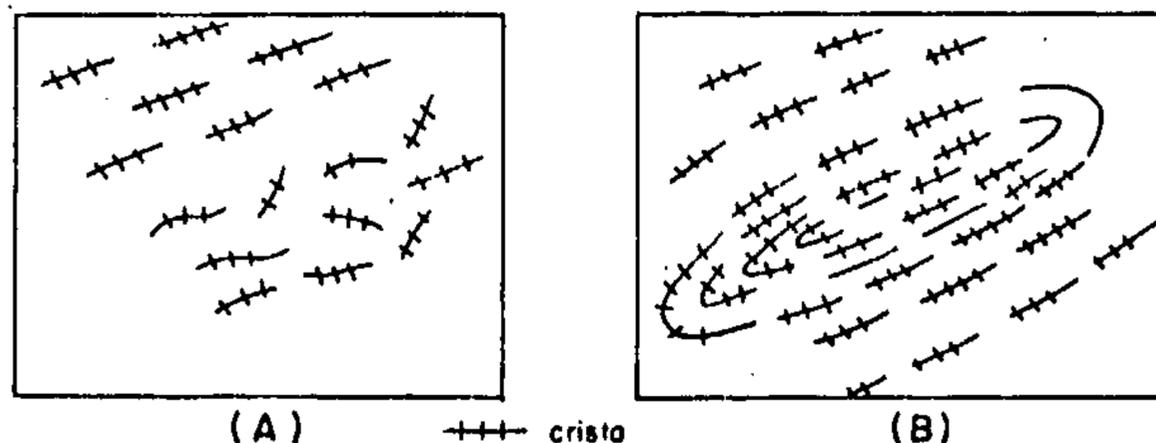


Figura 5.7 - Estruturas de relevo. Elemento textural indentificado: crista

Em (A), temos uma forma de estrutura de relevo com densidade média de elementos texturais; disposição retilínea e irregular, fortemente estruturada acima, e não estruturada abaixo, e de 1ª ordem. Em (B), forma de estrutura de relevo com densidade baixa na periferia, e alta no centro, elíptica, fortemente estruturada e de 1ª ordem.

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. Na figura 5.7 (A), podemos separar duas zonas homólogas de relevo: uma formada por elementos texturais retilíneos, de relevo fortemente estruturado, e outra constituída por elementos texturais curvos, irregulares, não estruturados. Na figura 5.7 (B), distingue-se também duas zonas homólogas de relevo: uma central, com alta densidade de textura, e outra externa, com baixa densidade.

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 feixe ou em série (transversal a estrutura). Quando um limite coincide com uma forma linear estruturada, tem-se um limite definido pela propriedade desta forma (figura 5.8 A).

O limite progressivo acontece, quando as propriedades de uma zona homóloga, são substituídas progressivamente pelas propriedades de outra (figura 5.8 B).

O limite envoltório aparece, quando separamos um conjunto de propriedades texturais e/ou estruturais diferentes, sem que estas propriedades cubram toda a zona limitada (figura 5.8 C).

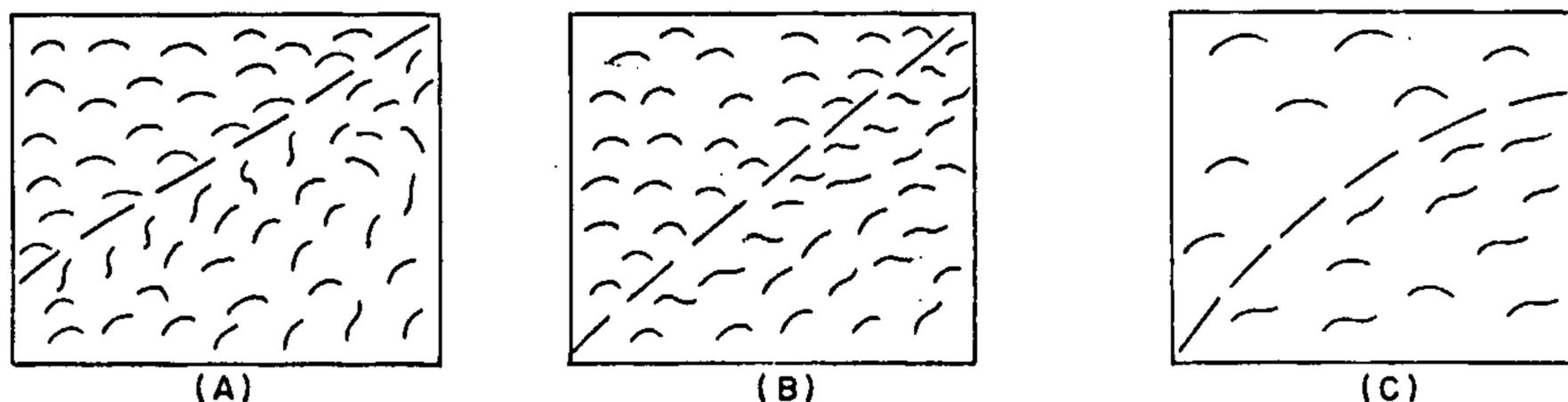


Figura 5.8 - Limite entre zonas homólogas: (A) limite definido, (B) limite progressivo e (C) limite envoltório.

Todas estas feições contidas nas imagens, dependem não só, da escala de observação, mas também do grau de resolução da análise, e da qualidade das mesmas.

Assim, a identificação de uma estrutura de relevo é importante, porque além de assinalar o conteúdo estrutural, desperta também para o tipo litológico associado.

### 5.7 Estruturas Circulares/Ovaladas

Na região amazônica, Lima (1979) identificou várias estruturas circulares em imagens de radar, associadas à intrusões, a maioria das quais, portadora de relevo. O autor estabeleceu as seguintes feições topográficas dessas estruturas: a) morfologia geralmente circular, elíptica ou em forma de oito; b) o relevo pode ser positivo ou negativo, a depender da resistência à erosão da encaixante; c) os padrões de drenagem típicos são: anular, radial e centrípeto; d) um fraturamento intenso em uma direção preferencial, provoca uma forma ovóide nas intrusivas, imprimindo-lhes uma foliação secundária, modificando seu caráter isotrópico.

As estruturas circulares/ovaladas, podem apresentar-se ainda, sem expressão topográfica, realçadas apenas pelas lineações concêntricas, indicando provavelmente dobramentos ou intrusões. Nas regiões de relevos arrasados, especialmente no nordeste do Brasil, essas estruturas são frequentes (figura 5.9).

Algumas delas encontram-se complexamente interrelacionadas, e quase sempre bordejadas por zonas de cisalhamento (figura 5.9A). Já outras, 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 5.9B).

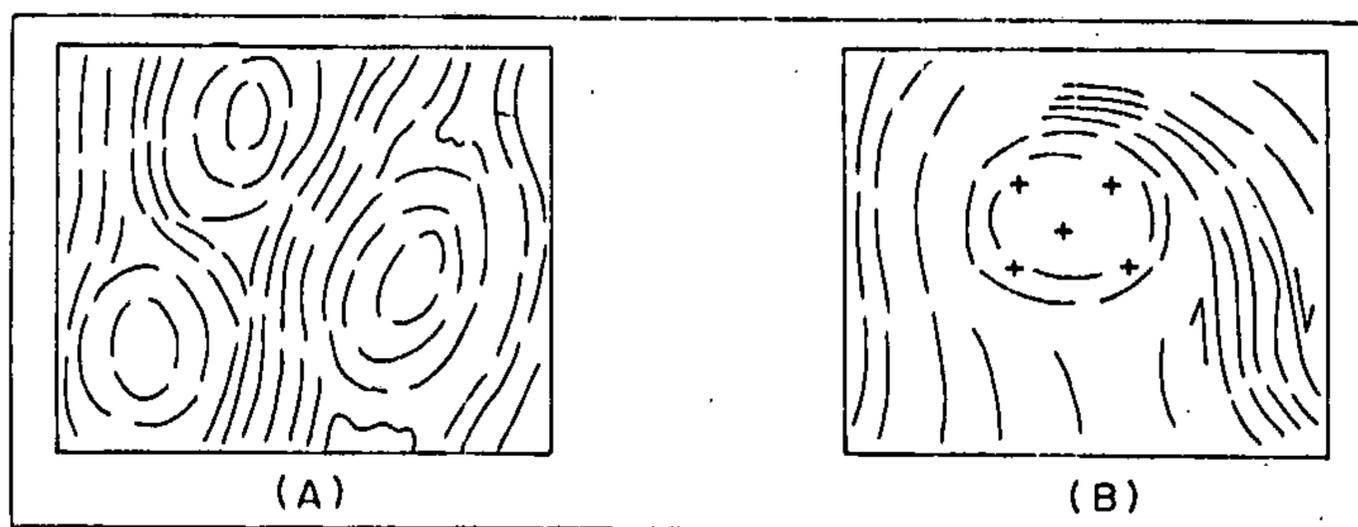


Figura 5.9 - Exemplos de estruturas circulares no nordeste do Brasil.  
 (A) - Estruturas circulares, complexamente interrelacionadas, assinaladas pelas lineações. Zonas de cisalhamento limitam essas estruturas. (B) - Estrutura circular, na qual o núcleo é homogêneo, apenas com discretas lineações na periferia.

Também existem estruturas circulares/ovaladas que são bordejadas por restos de sequências similares à greenstone belts, compostas por calcissilicáticas, gnaisses bandados e rochas básicas.

O traçado consciente de todas as lineações observadas em uma imagem, é fundamental. Como elas participaram das deformações tectônicas que foram impostas às rochas, essas lineações contam a história geológica da área. Por exemplo, as estruturas circulares descritas acima, estão situadas geralmente em núcleos antigos, cratonizados. As feições aproximadamente lineares, em geral definem as zonas de cisalhamento. Como as rochas assimilam de forma diferenciada as deformações superimpostas, pela disposição das lineações, pode-se supor o tipo litológico observado na imagem. Em rocha granítica, as lineações mostram-se espaçadas e descontínuas, já em gnaisses, existe uma certa continuidade, e o espaçamento é menor, enquanto 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. Já os gnaisses bandados, em geral, ocupam áreas maiores, e as lineações não estão densamente ajustadas.

Através do estudo das lineações, também é possível estabelecer a época de colocação de um corpo plutônico, com relação as fases de deformação. Um maciço granítico anorogênico, logicamente não possui lineações, e seus contatos são bem definidos. Assim, pela densidade e organização das lineações, pode-se ter uma idéia sobre a época de intrusão/colocação desse corpo.

Segundo Thorpe & Brown (1985), a aparência de um granito pré-tectônico, sin-tectônico e pós-tectônico, nas imagens aéreas, pode ser fornecida, conforme figura 5.10.

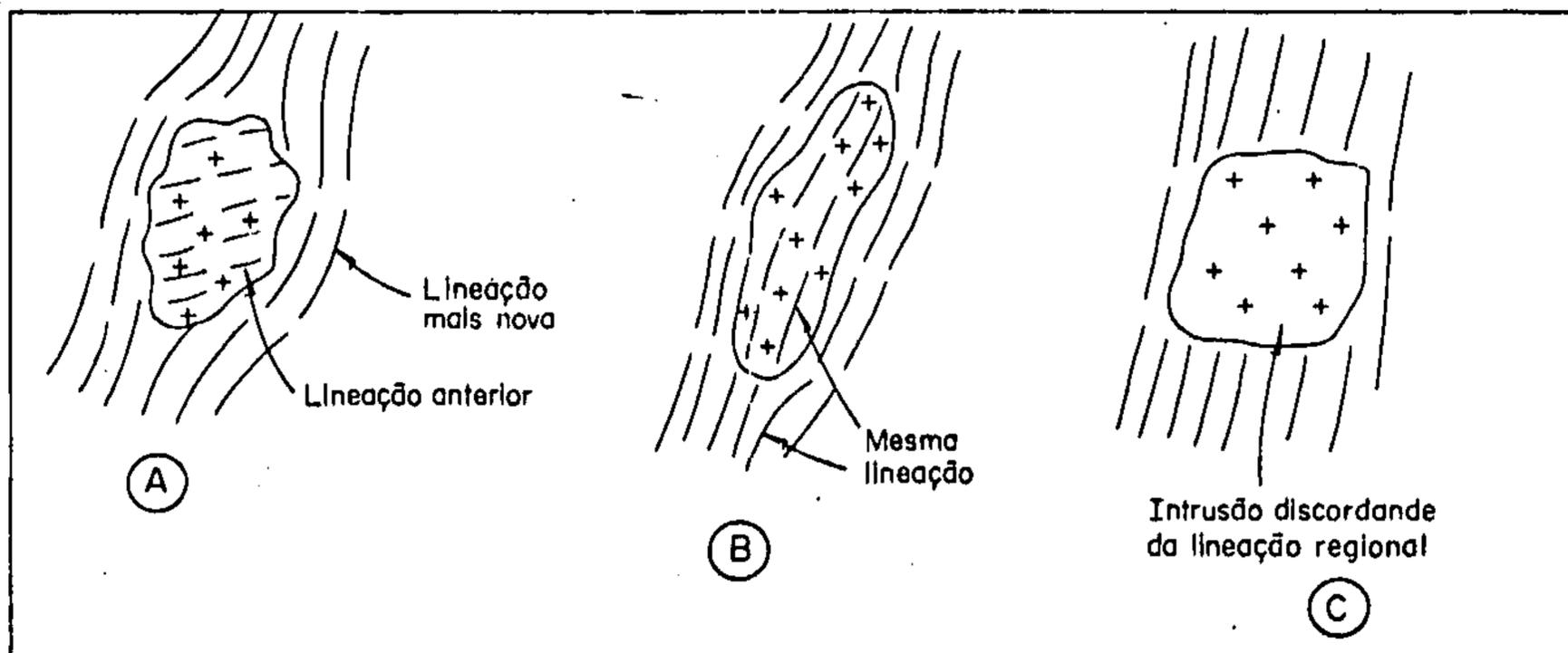


Figura 5.10 - Corpo intrusivo: (A) pré-tectônico, (B) sin-tectônico e (C) pós-tectônico (segundo Thorpe & Brown, 1985). Modificado de Pedreira (1986).

### 5.8 Dobramento Superposto

A dificuldade encontrada na definição dos dobramentos superpostos, em terrenos de relevos arrasados, consiste principalmente na ausência de condições adequadas, para realce dos lineamentos. Contudo, 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. No entanto, a falta de observação em profundidade, é um fator limitante na identificação do tipo de padrão de interferência. Em condições ideais, alguns critérios de superposição de dobramentos, podem ser diagnosticados nas imagens de sensores remotos, tais como: redobramentos, presença de lineamentos pré-existentes dobrados e cruzamento de lineações.

O "nariz" da dobra, é o melhor local para se analisar e extrair alguma conclusão sobre o padrão de interferência.

A forma do dobramento, também pode fornecer subsídios sobre a geometria do redobramento.

## 5.9 Fraturas

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

O método de fotointerpretação, lógico-sistemático de Guy (1966), denomina essas feições, de lineações em série, sendo utilizadas para discriminar unidades litológicas, com alta competência.

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, atravessando a rocha
- f) Alinhamento de dolinas em rocha calcária.

Para executar a análise das fraturas de uma área, é importante obedecer a seguinte sistemática: a) traçar as fraturas vistas nas imagens ou nas fotos; b) transferir o traçado para um mapa base mostrando a posição planimétrica real das fraturas, o que inclui os seus comprimentos e direções. Este estágio em geral, pode ser omitido no caso de imagens de radar ou satélite, que são geometricamente corrigidos.

O mapa obtido, chama-se de Campo Total das Fraturas, o qual será analisado qualitativa e quantitativamente. Esta análise pode ser feita manualmente. Contudo, a CPRM desenvolveu um sistema denominado SIFRAGE (Sistema de Tratamento Computadorizado de Fraturas Geológicas) o qual faz esta análise automaticamente.

A análise automática do campo total das fraturas, produz os seguintes mapas:

- 1 - Frequência das fraturas (comprimento total/área)
- 2 - Densidade das fraturas (número de fraturas/área)
- 3 - Frequência das intersecções (número de intersecções/área)
- 4 - Mapas de fraturas regionais
- 5 - Mapas de fraturas restritas (em uma determinada direção)

Se as áreas com máxima frequência de fraturas, têm forma circular ou oval, geralmente correspondem a um domo ou a um anticlinal. Entretanto, se estas áreas constituem uma faixa, devem corresponder a uma falha. Contudo, estes resultados não são conclusivos, devem ser relacionados ao estudo cuidadoso do mapa fotogeológico ou geológico da área.

O mapa de frequência de intersecções, também é muito importante para o estudo da hidrogeologia e/ou geologia econômica da área, uma vez que indica as interligações entre fraturas.

O mapa de fraturas restritas, também pode ser de utilidade nos estudos de geologia econômica, na determinação das direções preferenciais de veios mineralizados.

Assim, a análise das fraturas, tem por objetivo principal estudar os aspectos tectônicos de uma região, e auxiliar na identificação das unidades litológicas, fornecendo também subsídios para os mapas hidrogeológicos.

### 5.10 Falhas

Falhas são fraturas, ao longo das quais existem deslocamentos mensuráveis a olho nu. Alguns deslocamentos, são perfeitamente observados nas imagens de sensores remotos, principalmente quando existe um nível-guia deslocado (figura 5.11A). Contudo, é aconselhável analisar bem a falha, antes de caracterizar o tipo da mesma. Isto porque, marcadores do deslocamento, podem fazer com que interpretemos erradamente o rejeito, a depender de sua atitude. Pode ocorrer também, falso deslocamento horizontal ou vertical, dependendo do nível de erosão.

Uma zona de falha, é uma área linear que contém muitas falhas paralelas ou anastomosadas (figura 5.11B).

Uma zona de cisalhamento, é uma região linear, na qual as rochas foram submetidas a um forte estiramento, e conseqüentemente, estreitamento das camadas, sem haver rompimento (figura 5.11C).

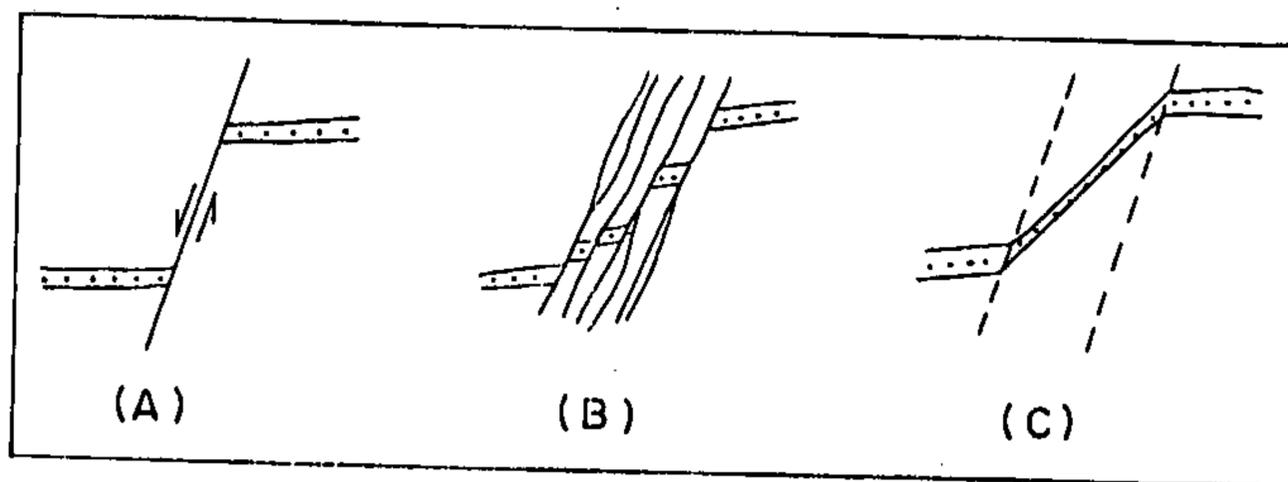


Figura 5.11 - Exemplos de deslocamentos. (A) Falha com rejeito indicado, (B) zona de falha e (C) zona de cisalhamento sinistral.

As imagens de satélite e de radar, exercem uma importante função no estudo tectônico de uma área, em função de uma série de vantagens, tal como a visão panorâmica, facilidade de seguir a falha por vários

quilômetros e a precisão do traçado. Entretanto, ao realizar um estudo completo, é necessário comprovar a existência da falha em campo, e efetuar algumas medições no plano da mesma.

Deve-se levar em consideração também, que existem falhas que são visíveis nas imagens e no terreno, enquanto outras, são apenas observadas no campo, sem registros nas imagens, e finalmente, algumas são claramente identificadas nas imagens, porém no campo, não são visíveis, talvez soterradas por material recente, ou mesmo mascaradas por solo, contudo, seu traço na imagem é claro.

Os principais critérios para interpretação de falhas, nas imagens aéreas, são os seguintes:

- 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 sequências sedimentares/metassedimentares de bordo
- j - Descontinuidade de lineamento de dolinas.

#### *5.10.1 Falhas Extensionais ou de Gravidade*

Falhas extensionais, são aquelas em que a componente vertical é a mais importante, dando como resultado um bloco alto e outro baixo. São verificadas em regimes tectônicos distensivos.

Em fotogeologia, elas são observadas através da modificação topográfica ou estrutural. Nas rochas homogêneas, a expressão topográfica, é a única indicação verificada nas imagens. Essas expressões é tanto maior, quanto maior for também o ângulo de mergulho da falha. Dessa forma, o plano da falha só é observado, quando existe escarpa (figura 5.12A). Quando não existe escarpa, a falha fica assinalada apenas pelo traço da mesma sobre o terreno, a qual se caracteriza pela linha mais ou menos reta, que separa litologias diferentes ou pela presença de rios controlados, etc. (figura 5.12B).

A escarpa da falha, nem sempre coincide com o traço da falha sobre o terreno (figura 5.12C).

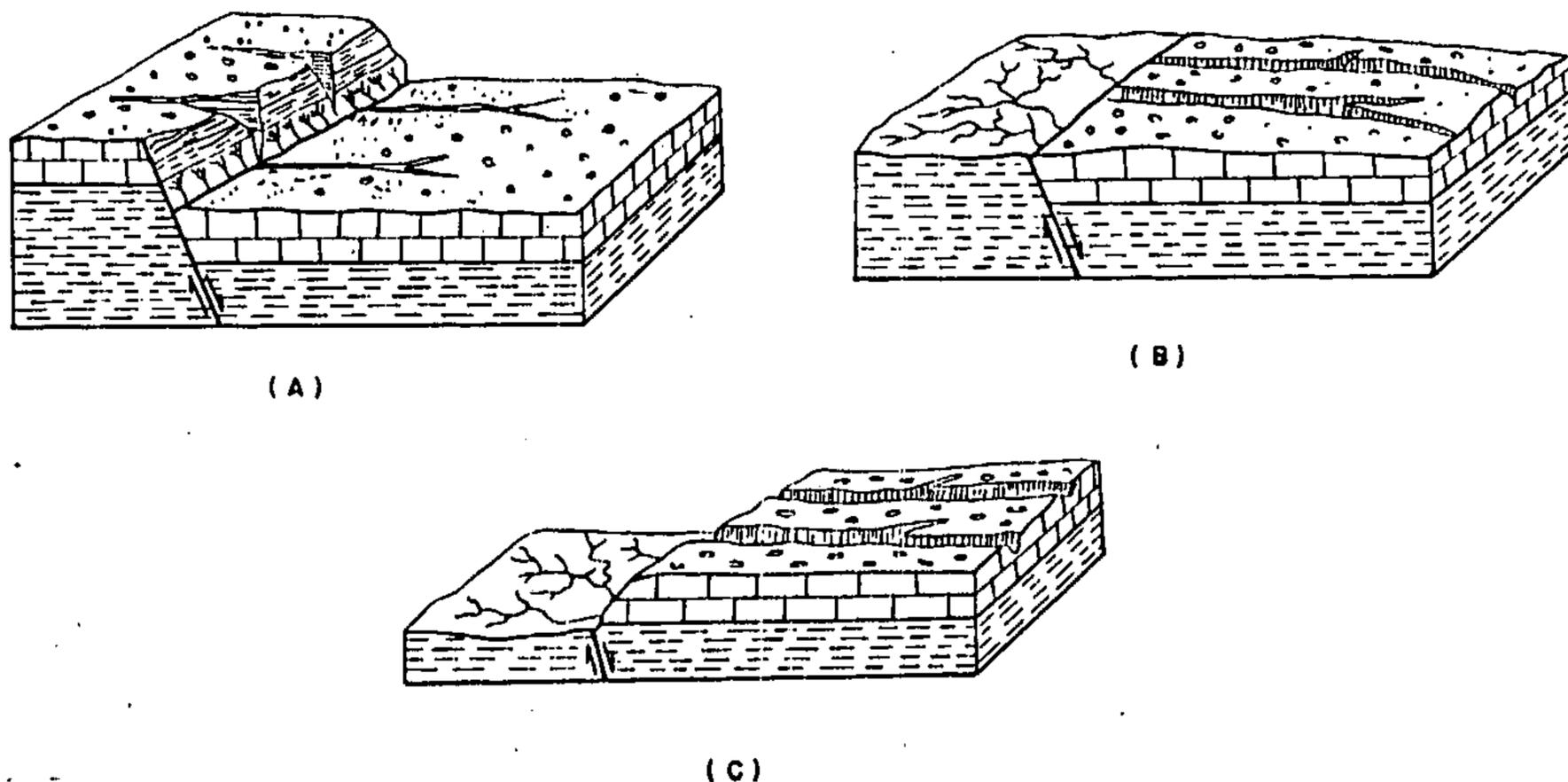


Figura 5.12 - Modelos evolutivos de uma falha. (A) Escarpa de falha; (B) traço da falha registrado no terreno, após a erosão da escarpa; (C) erosão diferencial, acarretando inversão de relevo. A linha de falha, não mais coincide com o plano da falha. Modificado de Vergara (1971).

A escarpa de falha é mais frequente em clima árido, do que em clima úmido. A erosão e a colmatação, podem destruir completamente a escarpa de falha, ocasionando um relevo plano e difícil de ser diagnosticada nas imagens aéreas.

Segundo Vergara (1971), nas bacias sedimentares, a influência das estruturas na topografia da área, é fundamental. Nessas bacias, a cada variação na estrutura, acarreta uma modificação na topografia. O mesmo autor considera ainda, a identificação fotogeológica de falhas, mais fácil em áreas sedimentares, do que, em qualquer outro tipo de terreno.

Nos climas áridos, onde existe uma clara visão da litologia e estratigrafia, facilitada pela ausência de vegetação, a caracterização de falhas, é bem mais fácil, podendo ser seguidas em alguns casos, por dezenas de quilômetros.

Quando o plano da falha extensional, é transversal á direção das camadas inclinadas, pode ser confundida com uma falha transcorrente, conforme figura 5.13.

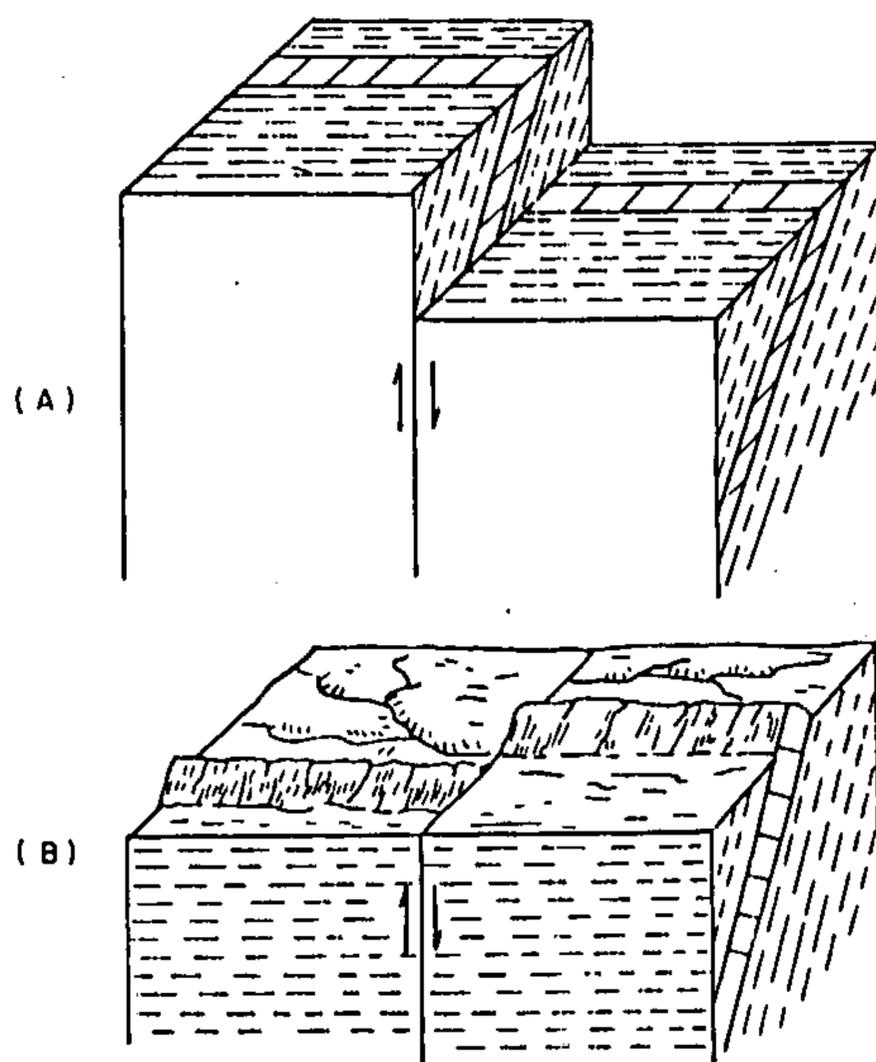


Figura 5.13 - Falha extensional, cujo plano é transversal à direção das camadas inclinadas. Neste caso, o deslocamento vertical das camadas, originado pela falha extensional (A), acarreta um deslocamento horizontal das mesmas (B), claramente observado nas fotografias aéreas. Modificado de Vergara (1971).

Quando o plano da falha extensional, é transversal à direção das camadas verticais, não existe deslocamento aparente das mesmas, conforme figura 5.14. Pode-se determinar a falha, pela presença de escarpa, ou por uma forte modificação na rede de drenagem. Assim, é muito fácil confundir nas imagens de sensores remotos, este tipo de falha, com uma simples fratura.

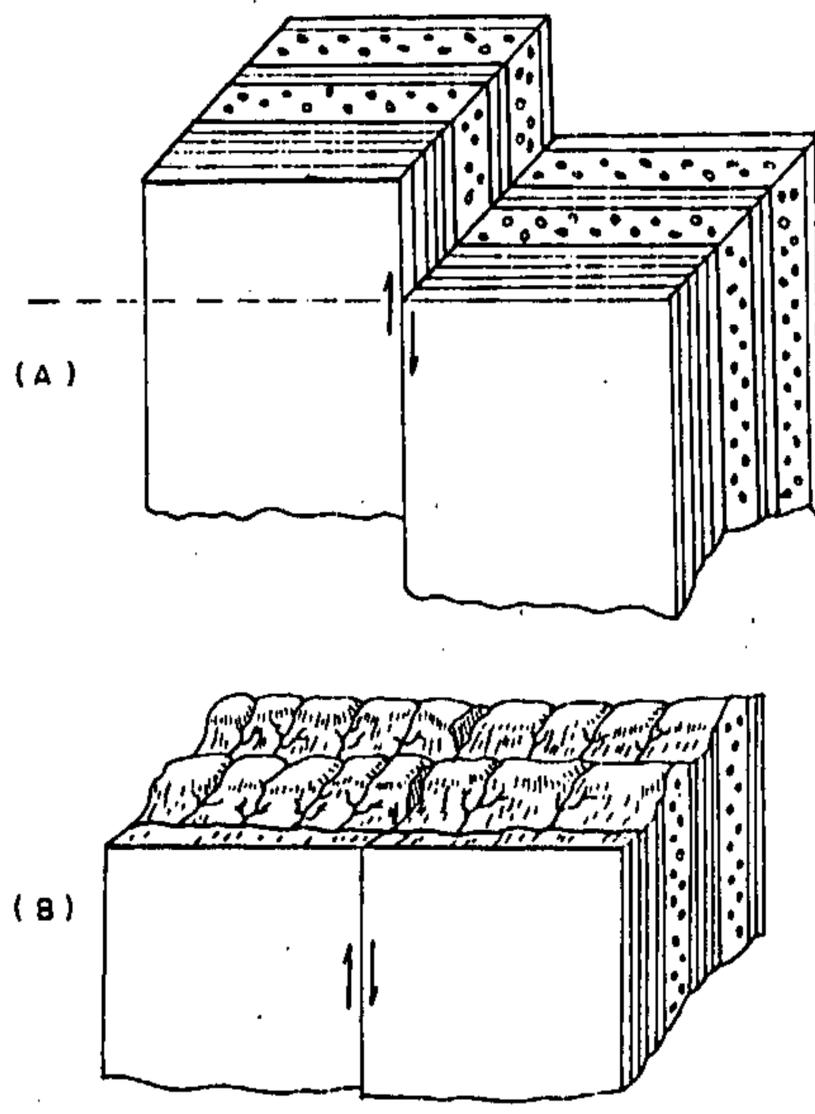


Figura 5.14 - Falha extensional, cujo plano é transversal à direção das camadas verticais. O deslocamento vertical sofrido pelas camadas (A), não ocasiona deslocamento nas mesmas, apenas uma quebra no relevo (B). Modificado de Vergara (1971).

No caso de falha extensional, cujo plano é transversal às camadas dobradas, pode acontecer em estrutura sinclinal (figura 5.15), ou anticlinal (figura 5.16), os seguintes efeitos.

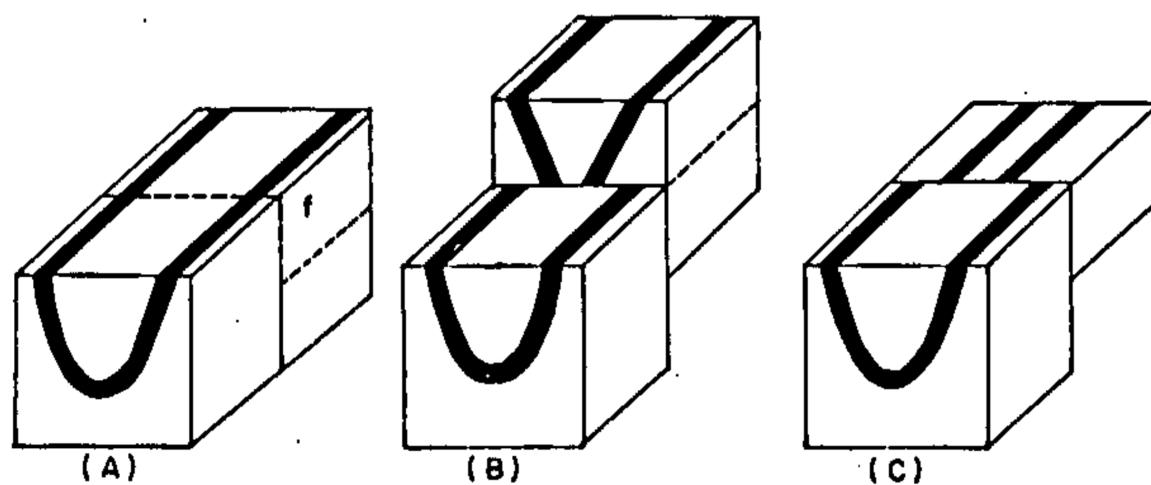


Figura 5.15 - Efeitos produzidos por falha extensional, que secciona camadas dobradas em sinclinal.

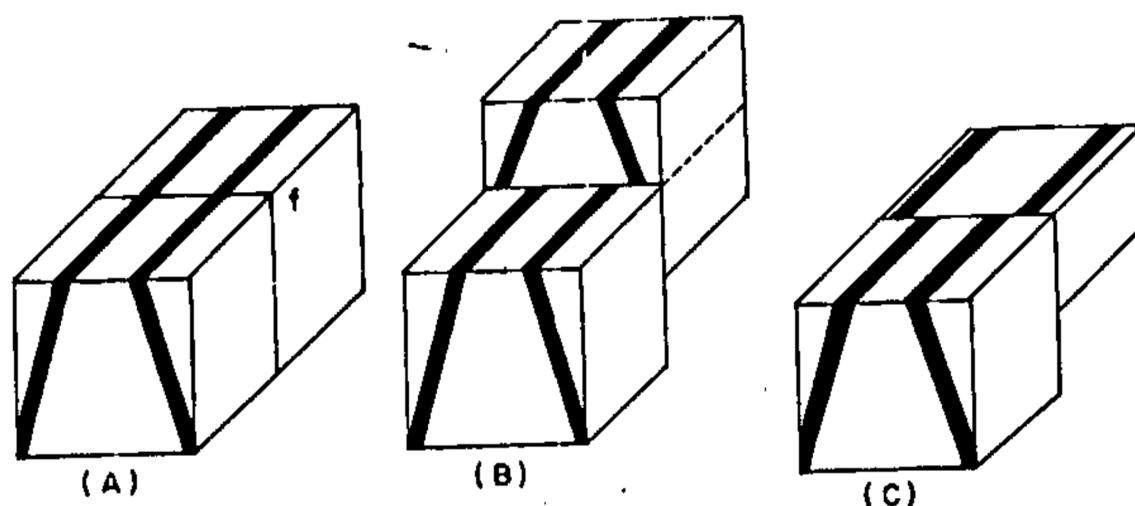


Figura 5.16 - Efeitos produzidos por falha extensional, que secciona camadas dobradas em anticlinal.

A falha extensional, pode apresentar-se ainda, com o plano, paralelo ou diagonal, em relação à direção das camadas.

#### 5.10.2 Falhas Transcorrentes ou de Rejeito Direcional

Falhas transcorrentes, são aquelas cujo movimento maior, entre os blocos, está na horizontal. São verificadas em regimes tectônicos direcionais, e o seu traço é mais ou menos reto.

A inclinação do plano da falha, neste caso, não é observado nas imagens, mas em geral, é vertical, e a direção do movimento é horizontal.

Nas rochas homogêneas (granitóides e ortognaisses), onde em geral não existem marcadores de deformação, torna-se difícil a interpretação fotogeológica, entre uma falha transcorrente e uma fratura. Todavia, em alguns casos, pode ser diagnosticada através do arrasto.

Já nas sequências sedimentares, o deslocamento sofrido pelas camadas, é perfeitamente identificado, conforme figura 5.17

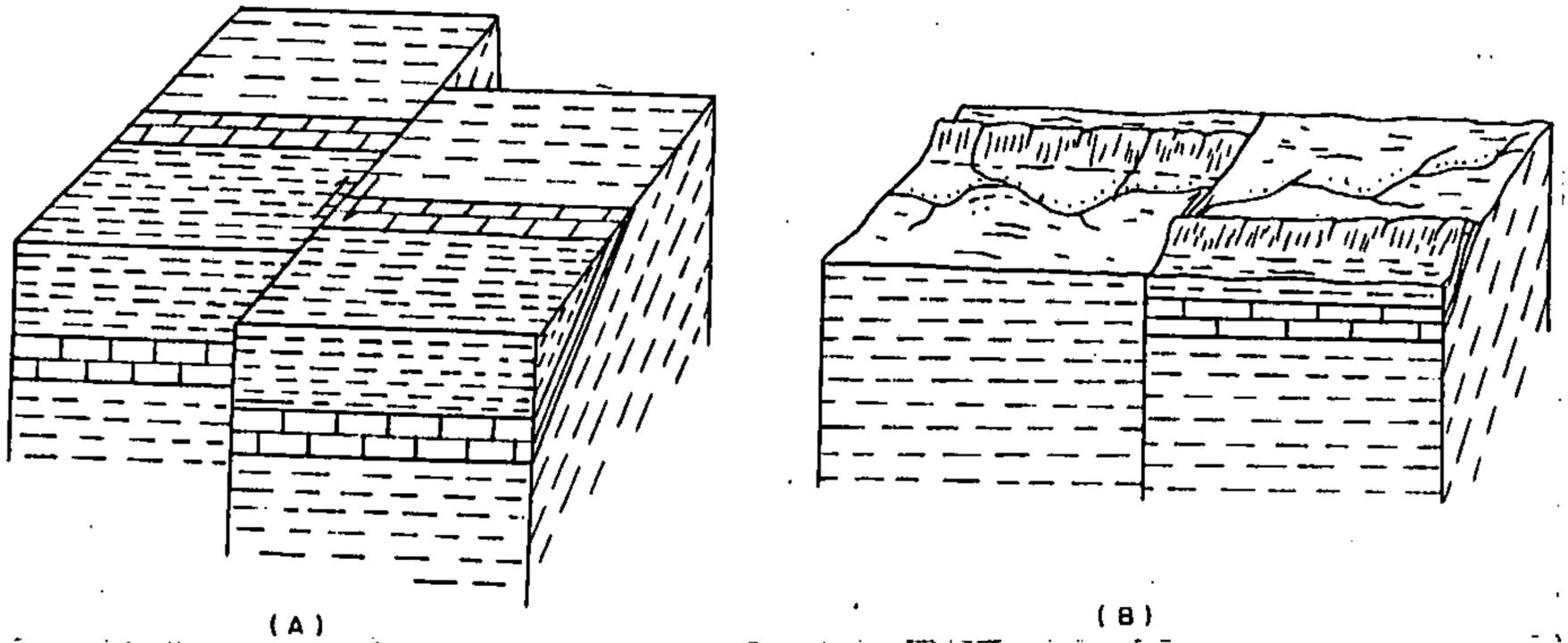


Figura 5.17 - Exemplos de falhas transcorrentes ou de rejeito direcional. O deslocamento das camadas é visivelmente observado nas imagens, com indicação do sentido do movimento. Modificado de Vergara (1971).

Quando comparamos as figuras 5.13B e 5.17B, observamos uma grande semelhança com respeito ao deslocamento das camadas. A caracterização destas duas situações, é muito difícil em fotogeologia, salvo quando existe uma pequena curvatura na extremidade das camadas, que possa indicar o deslocamento horizontal (figura 5.18).

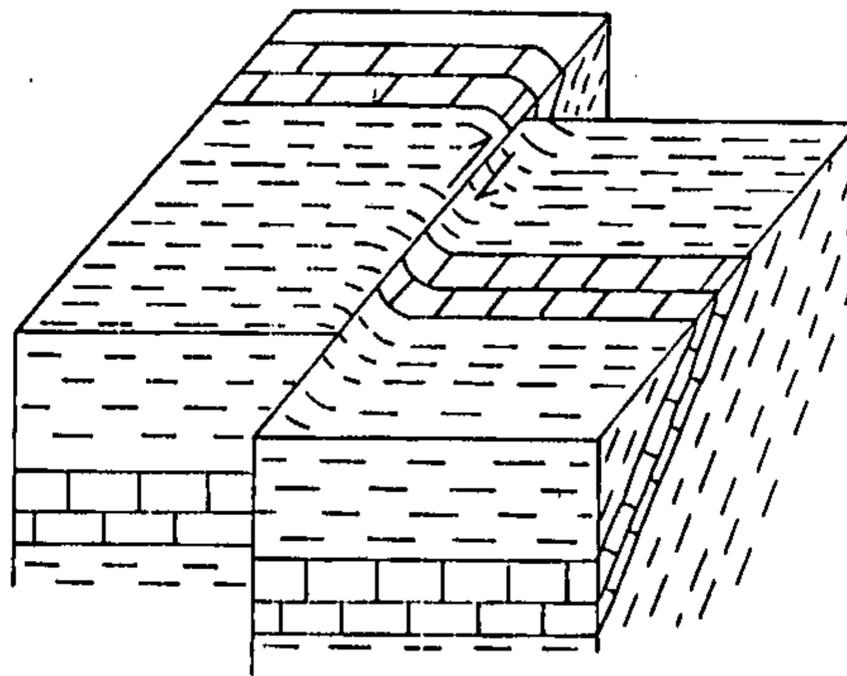


Figura 5.18 - Falha transcorrente, assinalando o deslocamento horizontal, indicado pela curvatura na extremidade das camadas.

### 5.10.3 Falhas Contracionais (Empurrões/Inversas)

Falhas contracionais ou de empurrão, são aquelas de baixo ângulo, nas quais as camadas mais antigas, estão sobre as mais novas. Tais falhas indicam encurtamento crustal, implicando em esforços compressoriais e tangenciais. Conseqüentemente, estão relacionadas principalmente com os cinturões de cavalgamentos, onde prevalecem os processos rúpteis, como por exemplo, as faixas dobradas que bordejam o Cráton do São Francisco.

Nessas áreas, o relevo em geral é forte, com as camadas tectonicamente imbricadas e mergulhando quase sempre no mesmo sentido.

Assim, a caracterização dessas falhas em fotogeologia é relativamente difícil. Em geral apresentam relevo, em função das escamas de empurrão, e possuem traço curvo, conforme figuras 5.19 e 5.20.

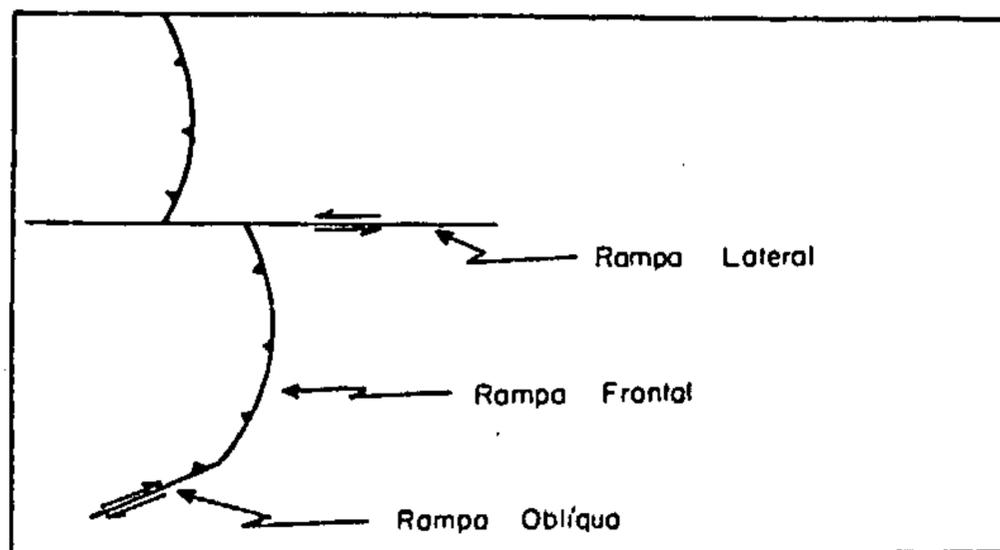


Figura 5.19 - Falha contracional, mostrando o traço curvo em mapa, e limitada por rampa lateral, sinistral.

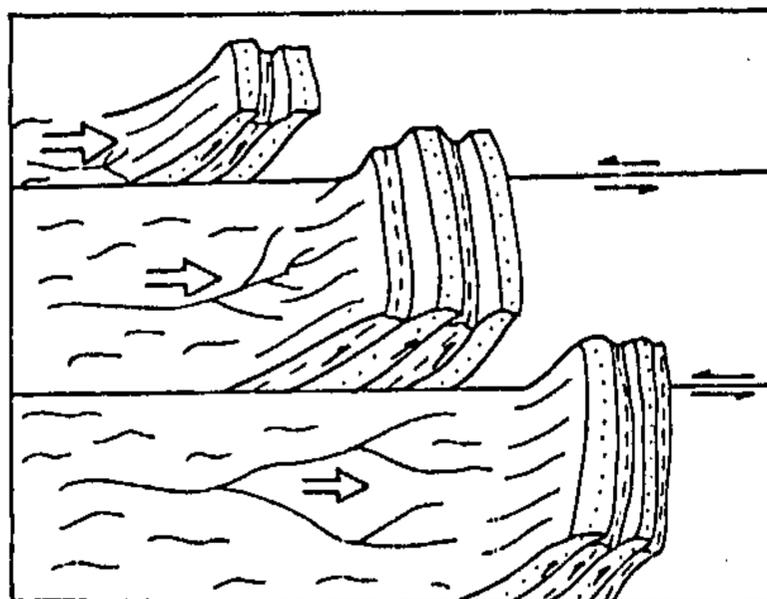


Figura 5.20 - Falhas contracionais, fornecendo uma série de camadas imbricadas (rampas frontais), limitadas por rampas laterais.

As falhas contracionais, quase sempre estão associadas com as transcorrências (figura 5.20), sendo mais uma feição a ser observada nas imagens, no intuito de diagnosticar com mais clareza essas falhas.

### 5.11 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 infinidade de planos. Constituem faixas em geral retilíneas, com largura da ordem de centenas de metros, e com vários quilômetros de comprimento. Nas fotografias aéreas e imagens de satélite, é possível individualizar as zonas de cisalhamento, desde que existam áreas com boas exposições de rochas.

Uma grande quantidade de lineações, contidas em uma estreita faixa, em geral linear, são as principais características dessas zonas, nas imagens de sensores remotos (figura 5.21A). Algumas zonas de cisalhamento bordejam núcleos homogêneos, de natureza granítica (figura 5.21B) e outras, constituem faixas contendo lineações descontínuas, e irregulares, zonas anastomosadas (figura 5.21C).

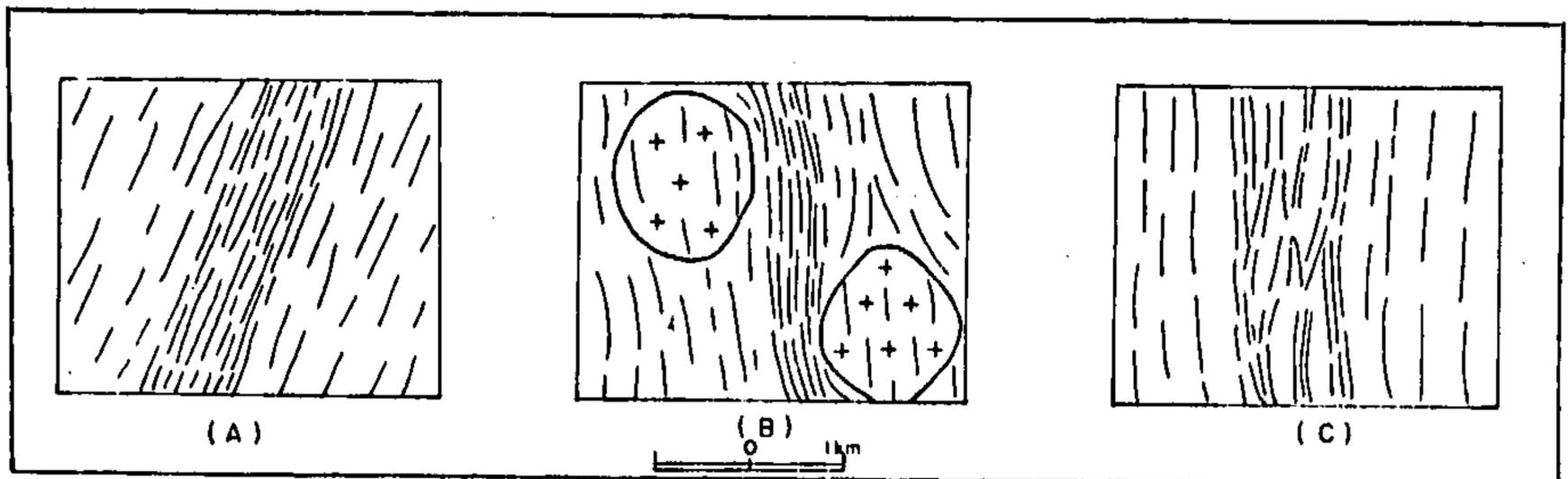


Figura 5.21 - Exemplos de padrões de zonas de cisalhamento, observados em fotografias aéreas, no nordeste do Brasil. (A) Estreita faixa linear, contendo grande quantidade de lineações. (B) Grande densidade de lineações, bordejando núcleos homogêneos, de natureza granítica. (C) Zonas de cisalhamento anastomosada, portando lineações descontínuas e irregulares.

Muitas das feições observadas em escala mesoscópica, podem ser vistas também nas fotografias aéreas, como dobras de arrasto, corpos rochosos deformados e rotacionados nas zonas de arrasto, e a grande quantidade de lineações, que são as interseções das foliações miloníticas, com a superfície do terreno.

Segundo Hasui & Costa (1991), as zonas de cisalhamento encerram faixas com terminações acunhadas, e lentes de rochas, separadas por bandas e zonas de cisalhamento, num arranjo que pode ser chamado,

padrão amendoado. Os mesmos autores ainda observam, que as foliações que cortam as porções menos deformadas ou indeformadas, apresentam variações consideráveis de direção e mergulho (figura 5.22).

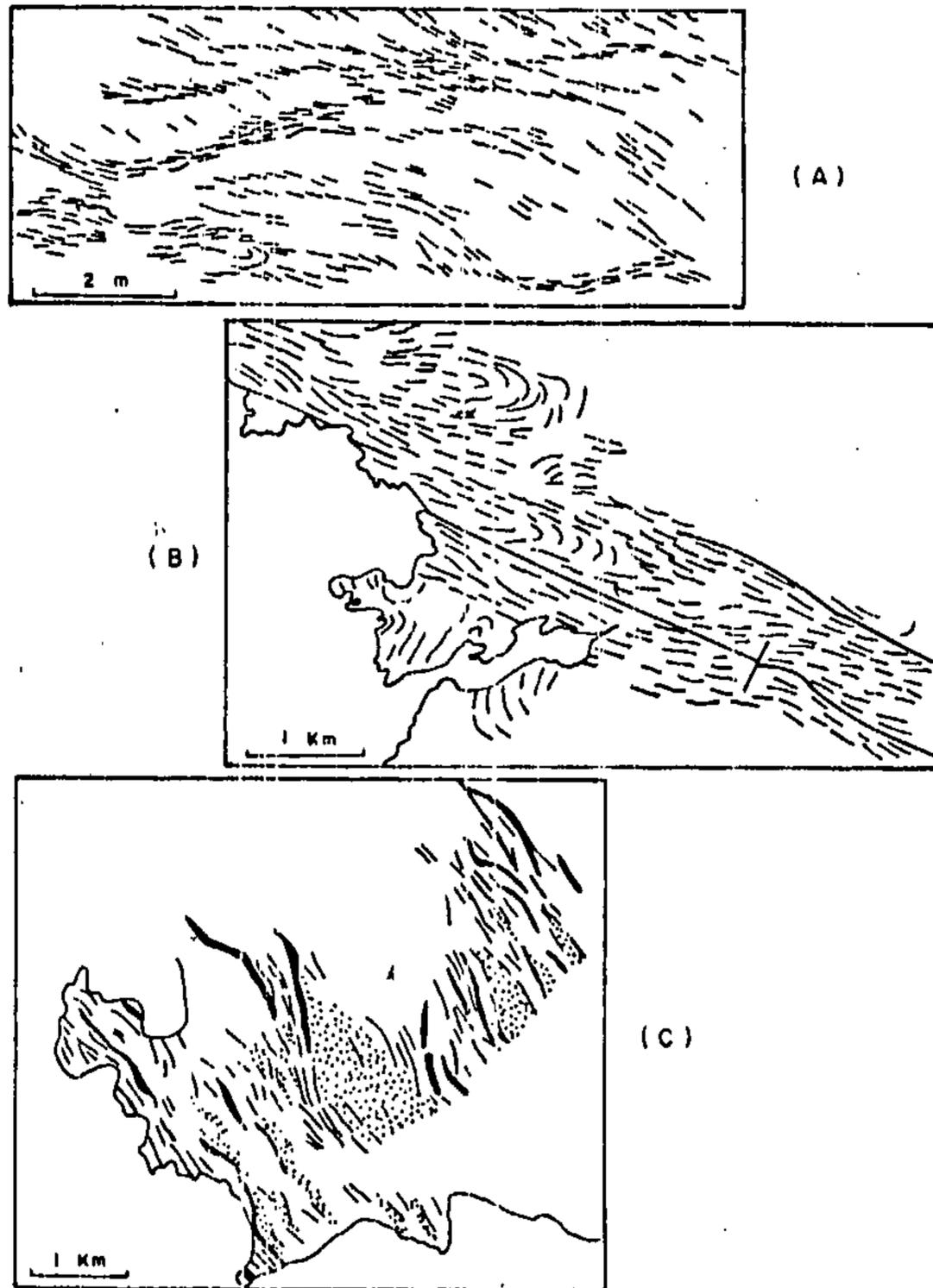


Figura 5.22 - Padrão amendoado em zonas de cisalhamento da Escócia. (A) Estrutura de metadolerito. (B) Estrutura de gnaisses tonalíticos com metaultrabasitos associados. (C) Estruturas de gnaisses tonalíticos, com indicação de zonas menos deformadas (pontilhado). Modificado de Hasui & Costa (1991).

Por isso, é importante traçar nas fotografias aéreas e/ou imagens de satélite, todas as lineações observadas com clareza, no intuito de delinear o padrão do cisalhamento, e tentar interpretar os mecanismos que ocasionaram as deformações.

Os critérios cinemáticos, que podem ser identificados nas imagens aéreas, são as feições de arrasto (figura 5.23) e os corpos rochosos deformados e rotacionados nas zonas de arrasto (figura 5.98).

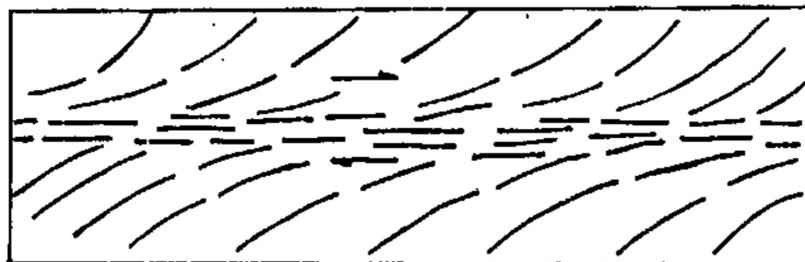


Figura 5.23 - Zona de cisalhamento do tipo transcorrente dextra

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 imagens de sensores remotos. Em função da grande extensão dessas faixas, elas são melhores observadas nas imagens de satélite e de radar.

As fotografias aéreas, por compreenderem menor campo de visão, perdem a noção de conjunto. Contudo, elas são indispensáveis no detalhamento interno desses cinturões, evidenciando com mais precisão as unidades litológicas e os alinhamentos estruturais.

## VI - ANÁLISE DA DRENAGEM, TONALIDADE, TEXTURA E VEGETAÇÃO

As análises da drenagem, tonalidade, textura e vegetação, funcionam separadamente como uma ferramenta auxiliar, no contexto da fotointerpretação, que é utilizada, após esgotar o estudo sobre a morfologia e os aspectos estruturais. Em algumas circunstâncias, a análise de uma dessas feições, pode ser decisiva, na interpretação fotogeológica.

### 6.1 Drenagem

A rede de drenagem, quando traçada de forma sistemática e uniforme, pode fornecer importantes informações, sobretudo quanto à estrutura e variações litológicas da área. Em regiões problemáticas, a individualização de unidades litológicas, pode ser obtida através de mapas de drenagem detalhada, e apresentados em escala, 2 a 4 vezes menor, que a escala em que a drenagem foi originalmente traçada, isto para reduzir as imperfeições. As propriedades mais importantes a serem analisadas, são as seguintes:

- a - Elementos texturais - menor linha contínua, com as mesmas propriedades (figura 6.1).

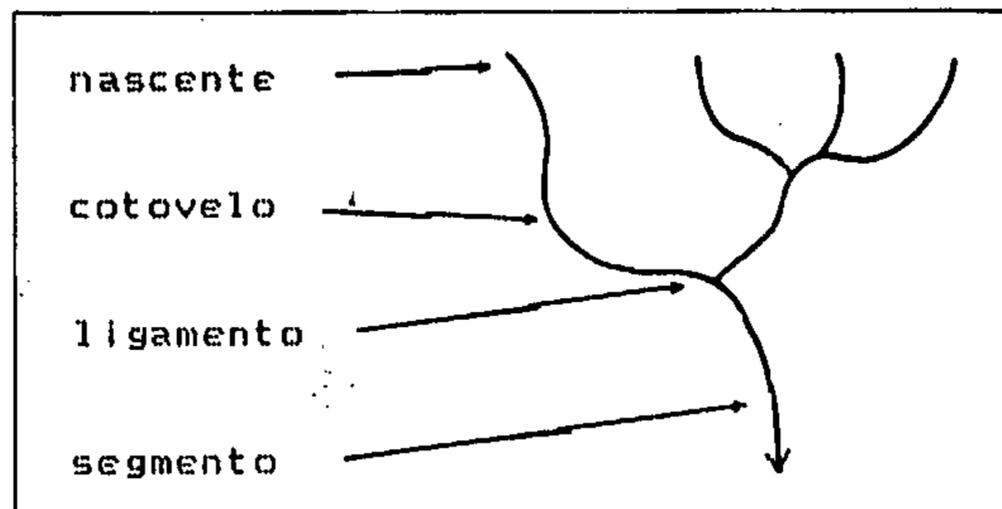


Figura 6.1 - Elementos texturais de drenagem

- b - Elementos estruturais - imagem fornecida pelo arranjo ordenado e contínuo dos elementos texturais (figura 6.2).

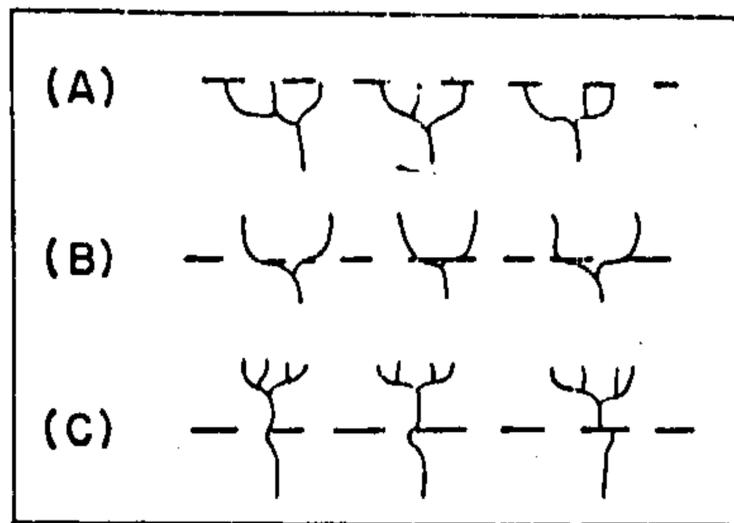


Figura 6.2 - Elementos estruturais de drenagem. (A) Alinhamento de nascentes. (B) Alinhamento de cotovelos. (C) Alinhamento de inflexão de segmentos.

c - Estruturas - arranjo ordenado na imagem, dos elementos texturais ou estruturais. Todo alinhamento, é uma estrutura simples. Existem as estruturas complexas, como as radiais, anelares, etc. O candelabro (figura 6.3), é uma estrutura complexa, de 2ª ordem.

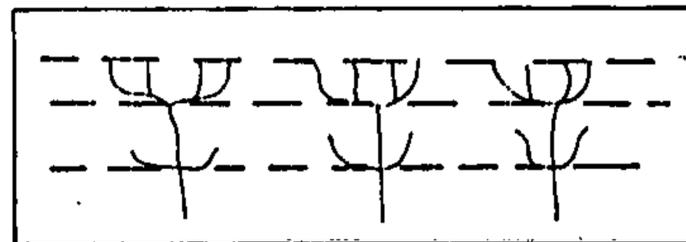


Figura 6.3 - Estrutura tipo candelabro

Para cada estrutura, existe uma lei que rege o ordenamento dos elementos texturais ou estruturais. Quanto mais repetitivos forem os alinhamentos, maior é a probabilidade da estrutura ser verdadeira.

Soares & Fiori (1976), ainda analisam outras propriedades contidas na rede de drenagem:

- a - Densidade de textura de drenagem (figura 6.4A). Reflete a permeabilidade da rocha subjacente.
- b - Sinuosidade dos elementos texturais de drenagem (figura 6.4B). Pode ser classificada visualmente em predominantemente curvos; predominantemente retilíneos; e curvos e retilíneos (mistos). O tipo curvo pode ser indicativo de granito. Já o padrão retilíneo, indica camadas mais resistentes paralelizadas com a direção preferencial da drenagem.
- c - Angularidade, refere-se ao ângulo de confluência dos elementos de drenagem (figura 6.4C). Pode-se classificar em zonas homólogas de drenagem, em função desta propriedade: baixa ângulos agudos -  $< 60^\circ$ ), média (ângulos retos -  $> 60^\circ < 120^\circ$ ) e alta  $> 120^\circ$ ). O padrão de drenagem com alta angularidade, está em geral relacionado com fraturamento ortogonal.

d - Tropia é a propriedade dos elementos de drenagem, de se desenvolverem segundo uma direção preferencial (figura 6.4D). Quanto a esta propriedade, podemos considerar a estrutura da drenagem, tendo em vista a presença de uma ou mais direções de linhas de drenagem, essencialmente dominantes.

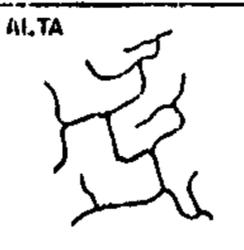
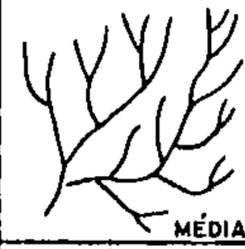
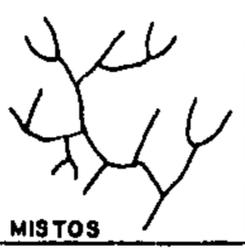
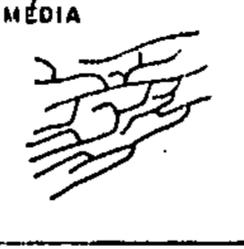
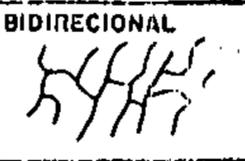
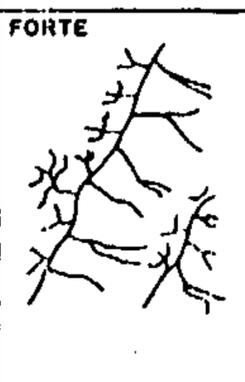
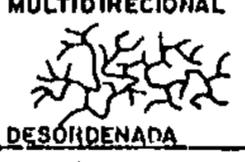
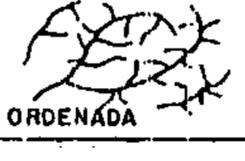
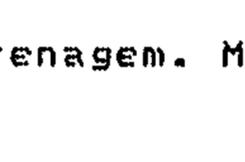
A-DENSIDADE	B-SINUOSIDADE	C-ANGULARIDADE	D-TROPIA	E-ASSIMETRIA	F-FORMAS ANÔMALAS
 ALTA	 CURVOS	 ALTA	 UNIDIRECIONAL	 FRACA	 MEANDROS ISOLADOS
 MÉDIA	 MISTOS	 MÉDIA	 BIDIRECIONAL		
			 TRIDIRECIONAL	 FORTE	 EM ARCO
 BAIXA	 RETILÍNEOS	 BAIXA	 MULTIDIRECIONAL		
			 DESORDENADA	 ORDENADA	 COTOVELO

Figura 6.4 - Propriedades da rede de drenagem. Modificado de Soares & Fiori (1976).

e - Assimetria - a assimetria da rede de drenagem, é caracterizada pela presença de elementos com tamanho ou estrutura sistematicamente diferentes, de um lado e de outro, do elemento maior. A assimetria fraca é caracterizada apenas por diferença no tamanho dos elementos e a forte é identificada por tamanho e forma (figuras 6.4E e 6.5).

Assimetria, que é uma estrutura baseada em um alinhamento, pode ser identificada pela: densidade, forma, sinuosidade e extensão.

f - Formas Anômalas - na figura 6.4F, são apresentados exemplos de formas anômalas com significado geológico.

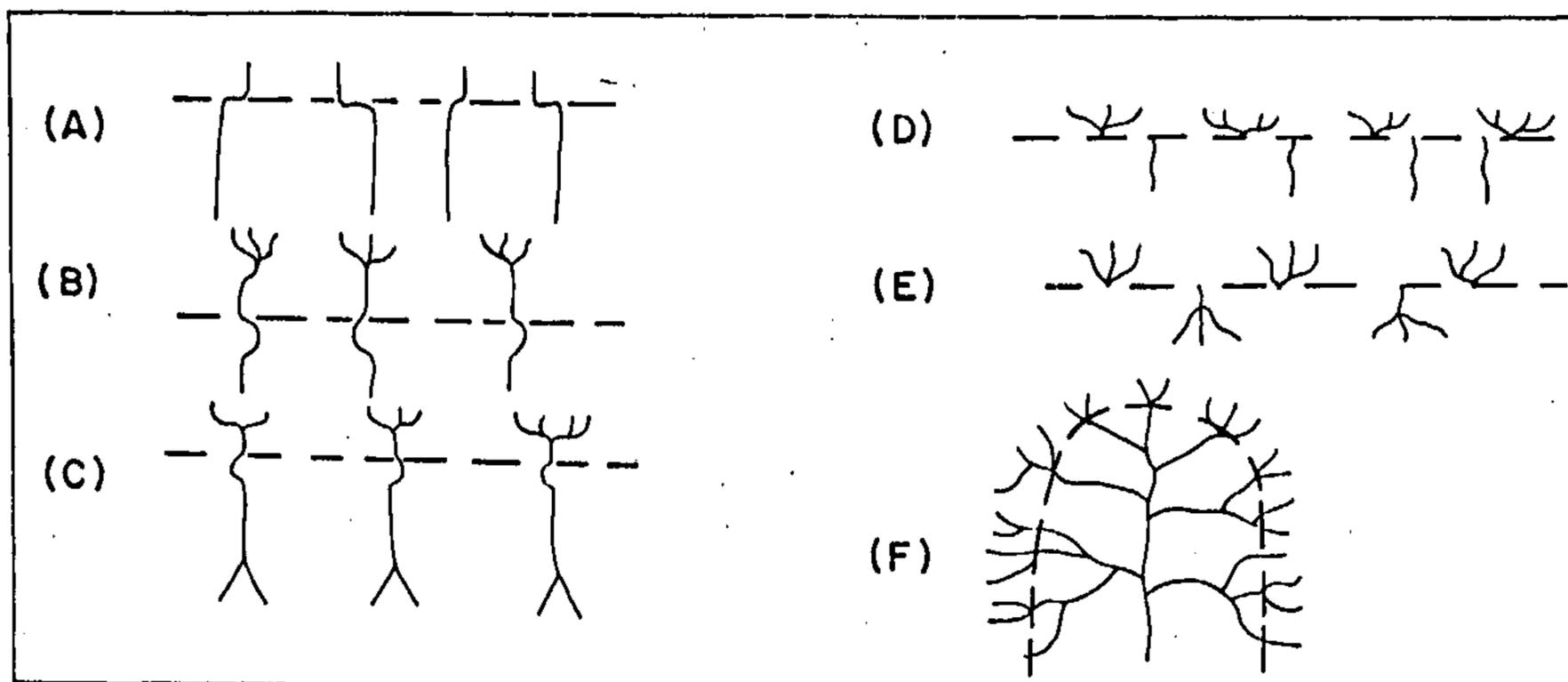


Figura 6.5 - Assimetria da rede de drenagem. (A) Assimetria através da extensão (baixa assimetria). (B) Assimetria através da sinuosidade e extensão (média assimetria). (C) Assimetria através da forma e angularidade (média assimetria). (D) Assimetria através da densidade (alta assimetria). (E) Simétrico (assimetria nula). (F) Drenagem radial, a qual apresenta densidade alta, sinuosidade alta, e angularidade baixa. Possui ainda drenagem curva, tropia multidirecional e sem simetria.

Lineações de drenagem - são elementos de drenagem, fortemente estruturados, retilíneos ou em arco (figura 6.6).

Na rede de drenagem, podem aparecer formas anômalas, diferentes do arranjo geral dos elementos de drenagem. Cada forma anômala, deve ser considerada e ter seu significado investigado.

Analisada segundo estas propriedades, com facilidade, são identificadas e definidas diferentes zonas homólogas de drenagem, com suas interpretações geológicas.

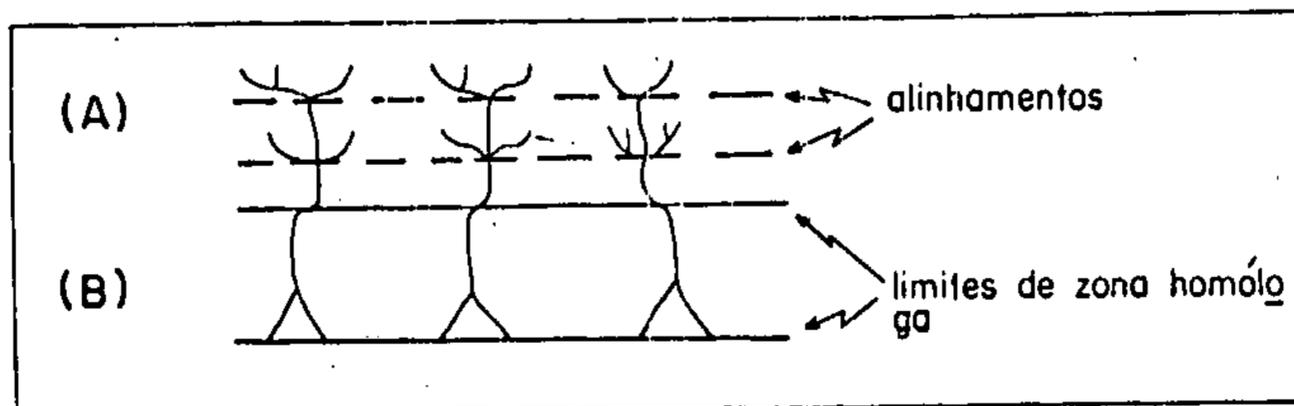


Figura 6.6 - Alinhamentos e zonas homogêneas de drenagem. (A) Zona homogênea caracterizada por drenagem em forma de candeebro. (B) Zona homogênea assinalada por drenagem de mesma forma (sub-paralela).

A drenagem pode ser externa ou interna. Nas áreas portadoras de calcário, grande parte dos rios são subterrâneos. Nas coberturas arenosas (Formação Urucua), a drenagem é praticamente inexistente. A água pluviométrica é quase toda infiltrada.

Quando a drenagem é externa a densidade pode ser, muito baixa, baixa, média, alta e muito alta, a depender da permeabilidade da rocha subjacente.

A secção do vale de um rio pode ter forma de "U", "V" estreito e "V" agudo.

Outro fator importante a ser levado em consideração, é o grau de integração da drenagem. Isto é extremamente importante para distinguir as unidades fotogeológicas. O grau de integração, se refere à continuidade dos canais, de uma ordem mais baixa para uma mais alta, como mostra a figura 6.7.

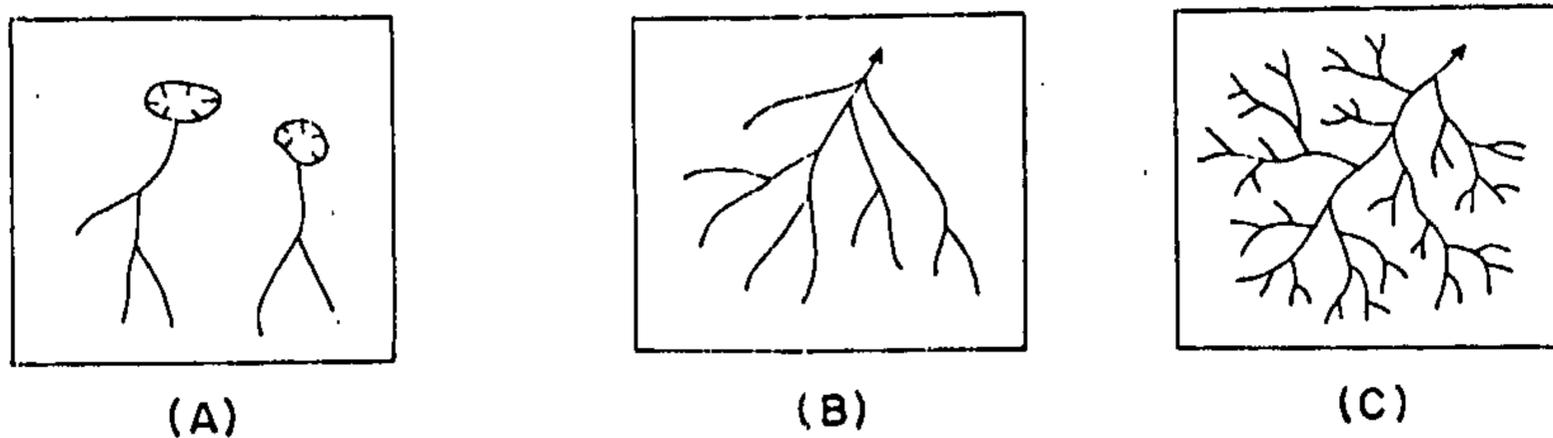


Figura 6.7 - Graus de integração. (A) Ausência ou baixa integração. (B) Moderada integração. (C) Alta integração.

Estes graus de integração, fornecem boa idéia sobre a natureza da rocha subjacente, desde que eles são determinados pela permeabilidade da mesma. Deve-se notar que o grau de integração, não é um valor absoluto, mas relativo, dentro de uma área.

A ausência de integração (A), é muito comum em áreas com calcários, nas quais a drenagem é interna e os rios desaparecem em dolinas. Entretanto, se for observado apenas um trecho do rio, aquele trecho poderá mostrar a drenagem integrada.

O caso (B), integração moderada, é comum em rochas clásticas de granulação grossa (arenitos e conglomerados) e seus produtos metamórficos, quando de baixo grau. Este tipo de integração, indica a permeabilidade da rocha, existindo alguma drenagem interna.

Finalmente, o caso (C), de uma drenagem altamente integrada, ocorre com rochas clásticas de granulação fina (folhelhos, siltitos, argilitos) e seus produtos metamórficos de baixo grau (filitos e xistos). A drenagem com integração alta, é evidência da impermeabilidade das rochas, que têm apenas drenagem externa, de modo que a infiltração da água não ocorre.

Outra observação a ser feita, é o padrão da drenagem, que dá informação sobre a estrutura e os processos geomorfológicos atuantes. Os principais tipos de padrões de drenagem são os seguintes: dendrítico, paralelo, treliça, angular, radial centrífugo, radial centrípeto, anular, retangular, pinado, anastomótico e dendrítico-retangular (figuras 6.8 e 6.9).

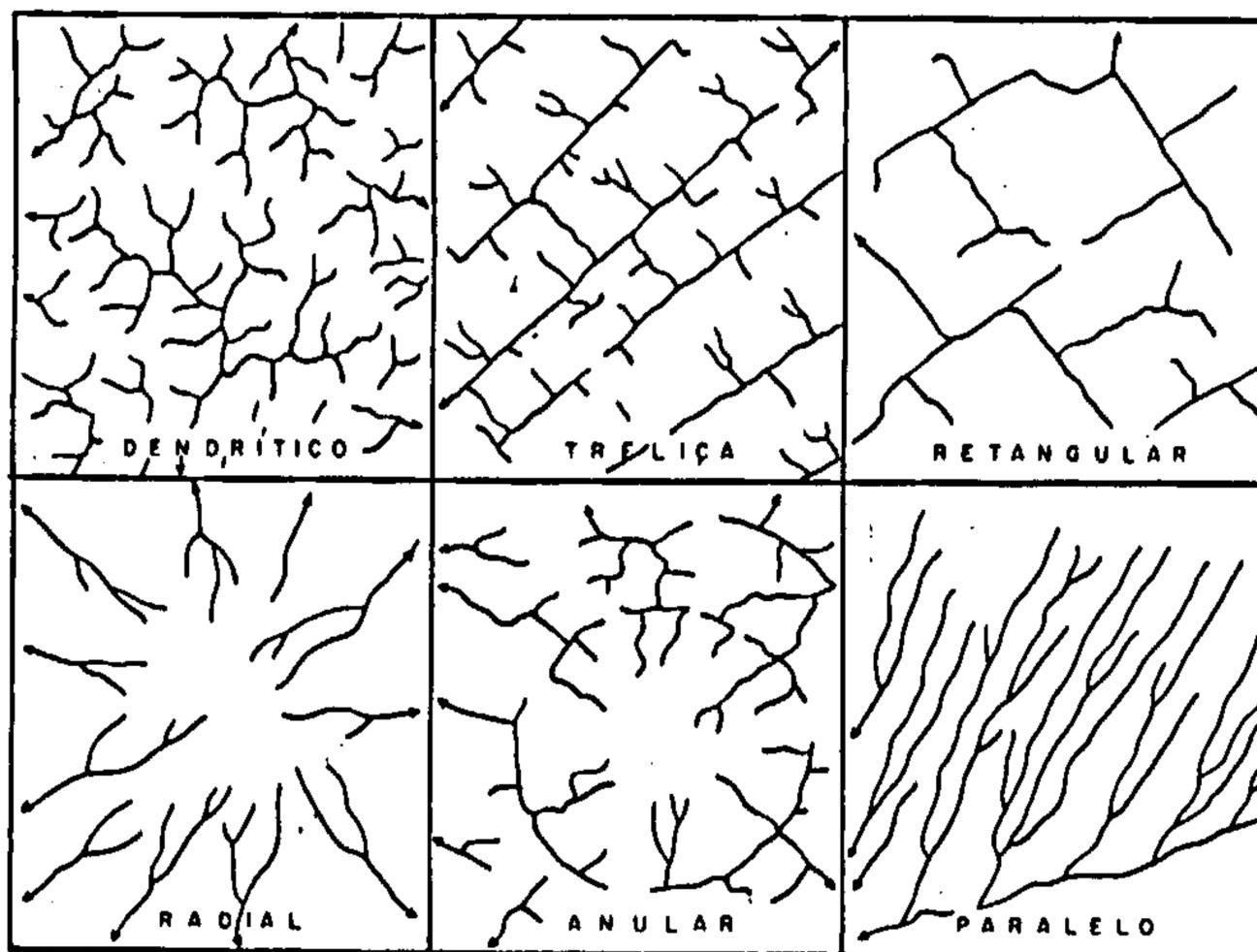


Figura 6.8 - Modelos básicos de drenagem

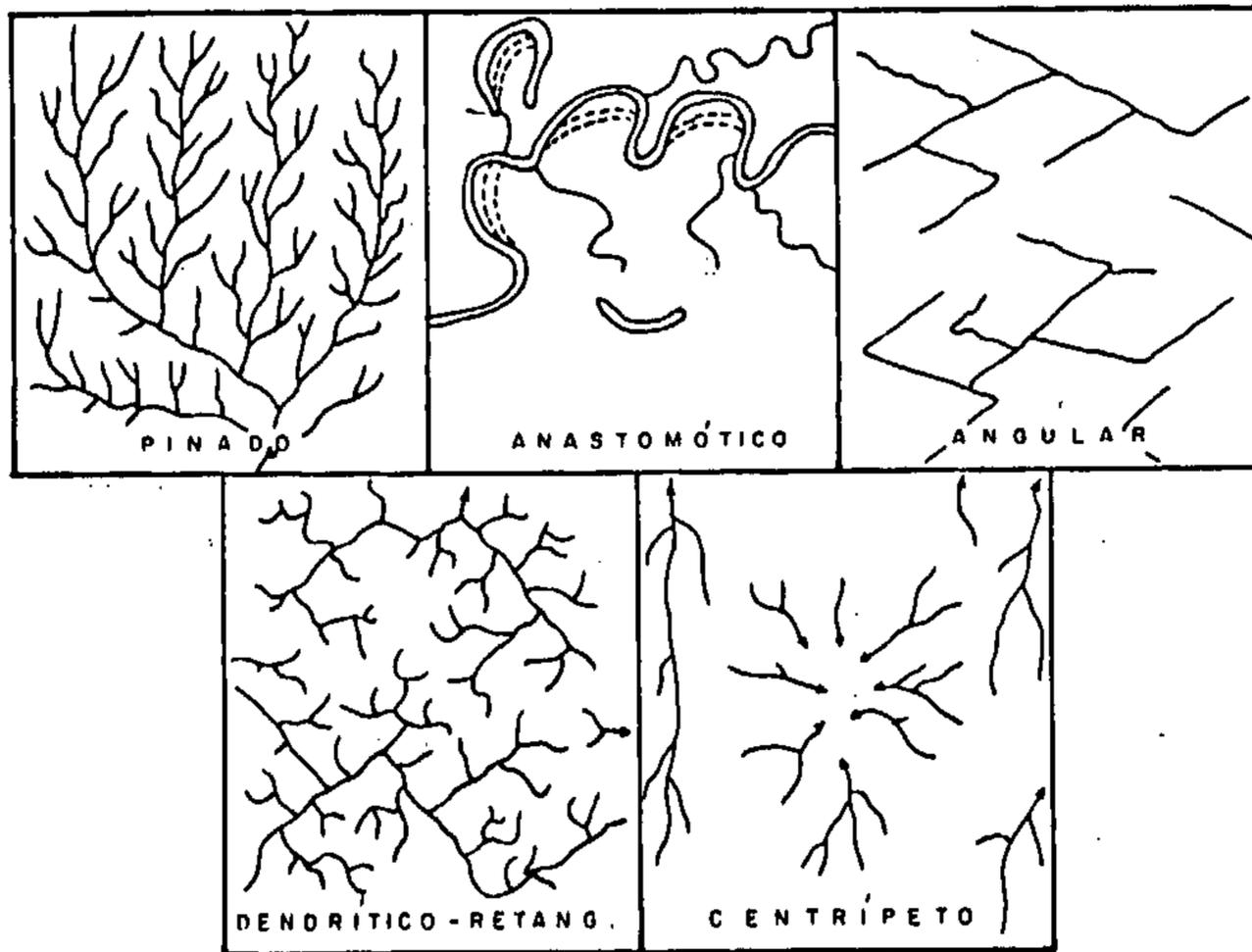


Figura 6.9 - Algumas modificações dos modelos básicos de drenagem.

*Padrão dendrítico* - As densidades são extremamente variáveis e indicam a homogeneidade da rocha, bem como a horizontalidade das camadas. A mudança de densidade implica na mudança de litologia e/ou granulometria, o que pode indicar uma mudança de facies.

*Padrão paralelo* - Tanto os canais mais longos, como os mais curtos, são quase paralelos. Este padrão é concentrado onde existem declives íngremes em rochas homogêneas. Também pode estar combinado com padrões sub-dendríticos, ou sub-paralelos, a depender da estrutura. Duas variações deste padrão são a treliça e o angular.

*Padrão em treliça* - Pode se desenvolver sobre metassedimentos, e ser controlado por fraturamento. Também indica sedimentos com litologia contrastante e mergulhos fortes.

*Padrão angular* - Esta variação é indicativa de controle estrutural. É uma modificação do modelo retangular. Nem todos os sistemas intercruzados de falhas e fraturas, formam necessariamente ângulos retos. Portanto, os modelos de drenagem controlados por estes sistemas, podem formar desenhos com ângulos os mais variados.

*Padrão radial centrífugo* - Desenvolvido em áreas dômicas ou áreas de intrusivas como "stocks" e lacólitos. É muito comum o seu desenvolvimento em granitos. Os cursos d'água se irradiam de uma área central.

*Padrão radial centrípeto* - Desenvolvido em bacias e depressões. Algumas vezes só pode ser detectado em grandes áreas.

*Padrão anular* - Ocorre onde existem levantamentos dômicos, indicando a presença de camadas resistentes. Pode também indicar a presença de antiformes com caimento duplo.

*Padrão retangular* - Caracteriza-se pela presença de muitas curvas em ângulo reto, tanto no curso principal, como nos seus tributários. É um modelo condicionado pelas fraturas e falhas, que se cruzam em ângulo reto. Este sistema de fraturas é típico de certos corpos rochosos, tais como granitos, ortognaisses, etc.

*Padrão meandrante/anastomótico* - Pode se desenvolver tanto em áreas amplas, como em vales largos. Meandros abandonados são característicos deste padrão.

Do ponto de vista geológico ele não indica muita coisa. Entretanto, geomorfologicamente, indica uma sobrecarga do rio. Existem exemplos onde o aumento ou a diminuição da largura do rio, pode indicar estruturas ou barreiras geomorfológicas. É um padrão comum em áreas costeiras.

*Padrão pinado* - É uma modificação da drenagem dendrítica, assemelhando-se a essa. Os maiores rios estão controlados pelo declive topográfico regional. A pronunciada influência do declive, é mostrada na junção dos rios em ângulos, recordando o desenho de uma pluma.

*Padrão dendrítico-retangular* - Tal combinação pode verificar-se no caso de um complexo rochoso essencialmente homogêneo, cortado por sistemas de fraturas intercruzadas com malhas relativamente grandes. Os rios principais correm em tais planos de menor resistência, formando modelo retangular, enquanto os blocos de rocha isoladas pelas fraturas, são drenadas por tributários, que formam modelos dendríticos locais.

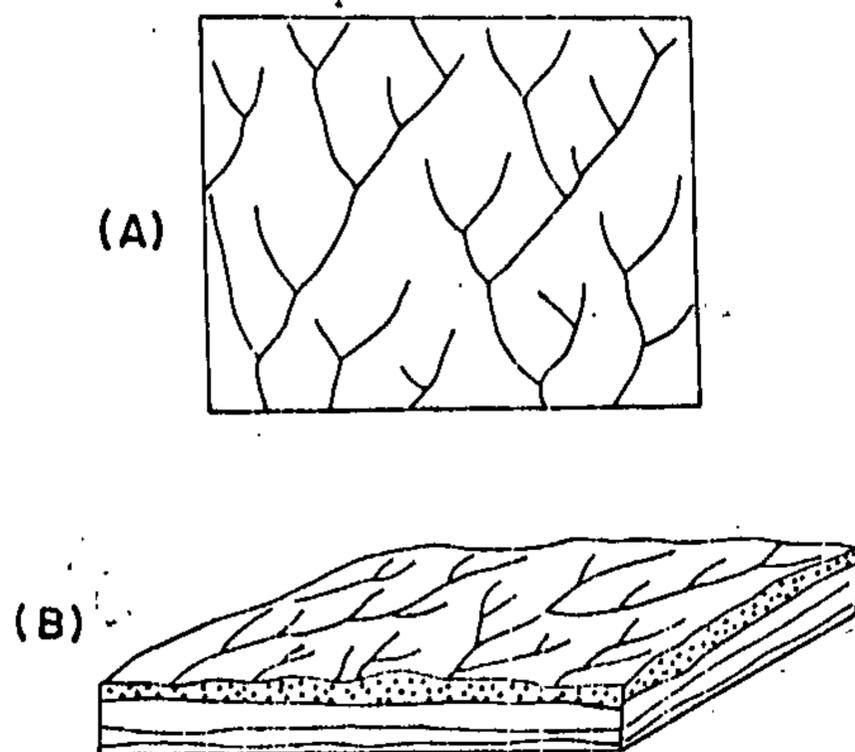


Figura 6.10 - Interpretação geológica a partir da forma da drenagem. (A) Forma ajustada para ampla cobertura de drenagem, com mínimo de energia disponível. (B) Bloco diagrama, mostrando a ausência de controle geológico na forma da drenagem.

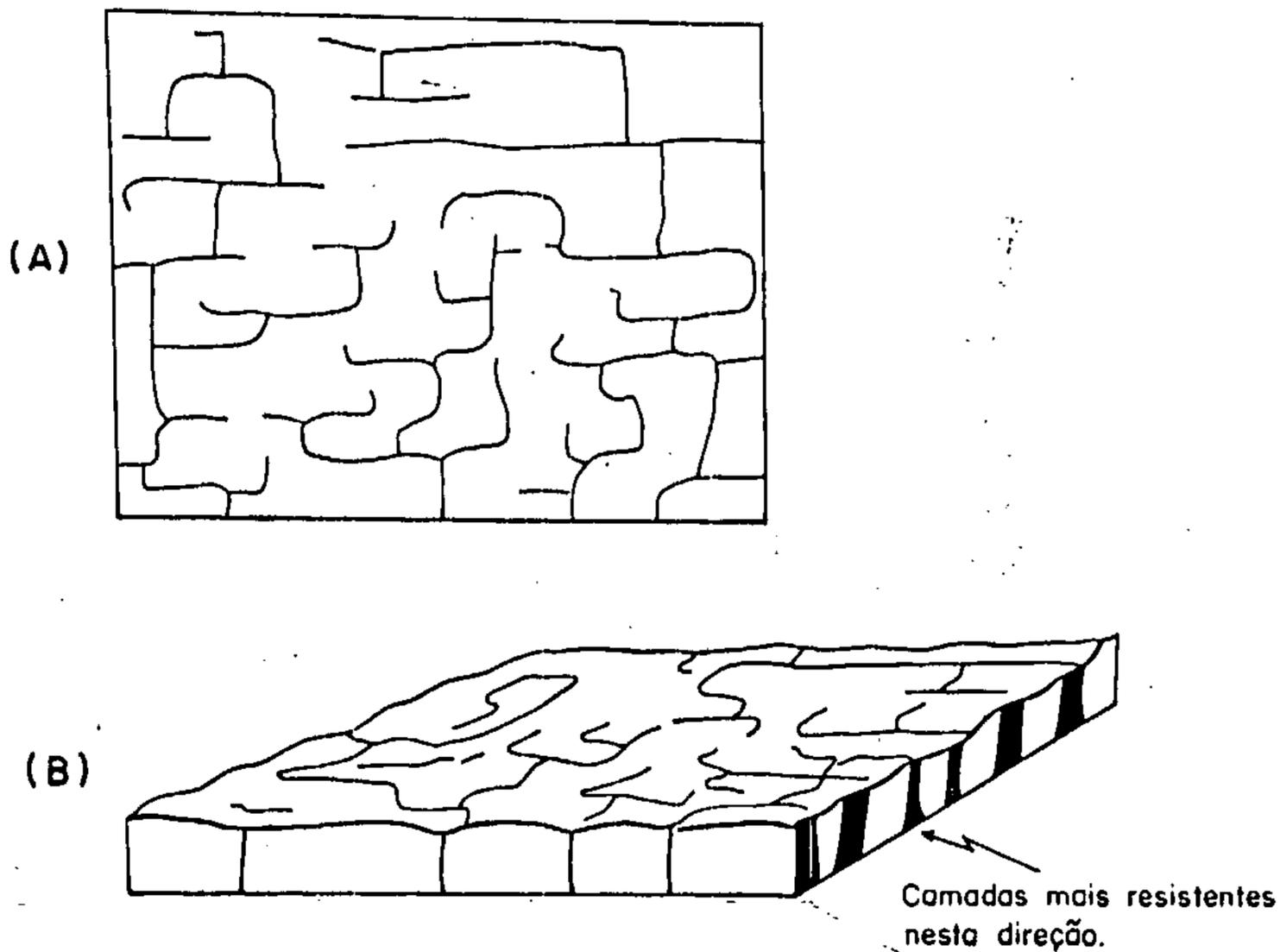


Figura 6.11 - Interpretação geológica a partir do padrão de drenagem.  
 (A) Padrão de drenagem, controlado por barreiras ao escoamento, havendo consumo diferencial de energia. Drenagem bidimensional com alta angularidade. (B) Bloco diagrama, apresentando a disposição das camadas mais resistentes.

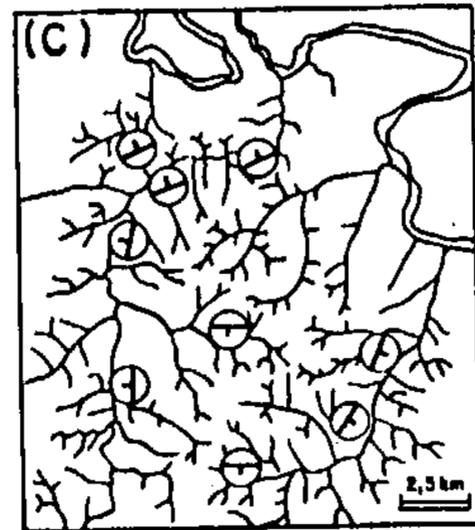
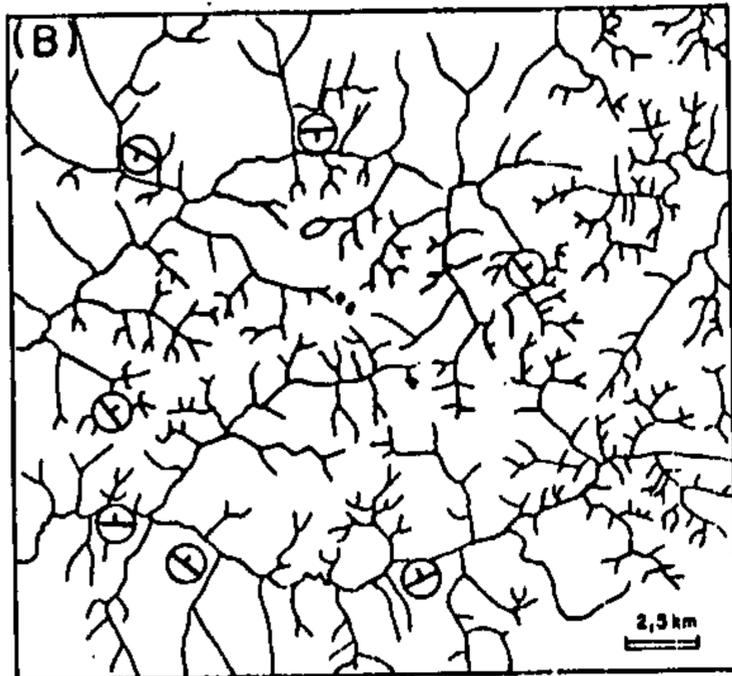


Figura 6.12 - Exemplos de interpretação da estrutura geológica, pelas formas da rede de drenagem. (A) Áreas moderadas e fortemente dobradas. (B) Baixo estrutural. (C) Alto estrutural (domo). Modificado de Soares & Fiori (1976).

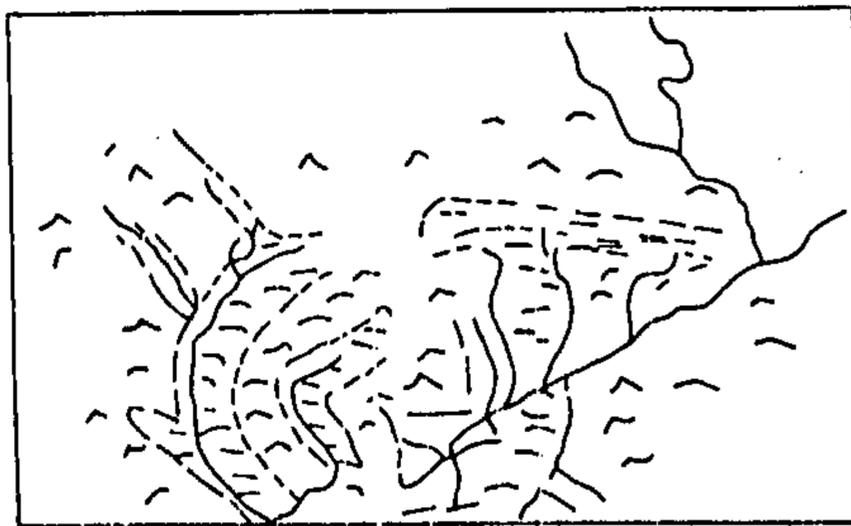
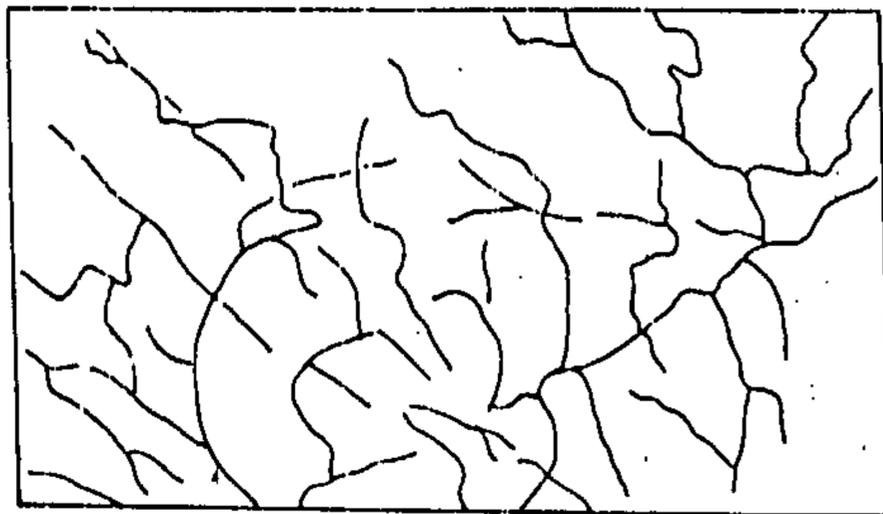
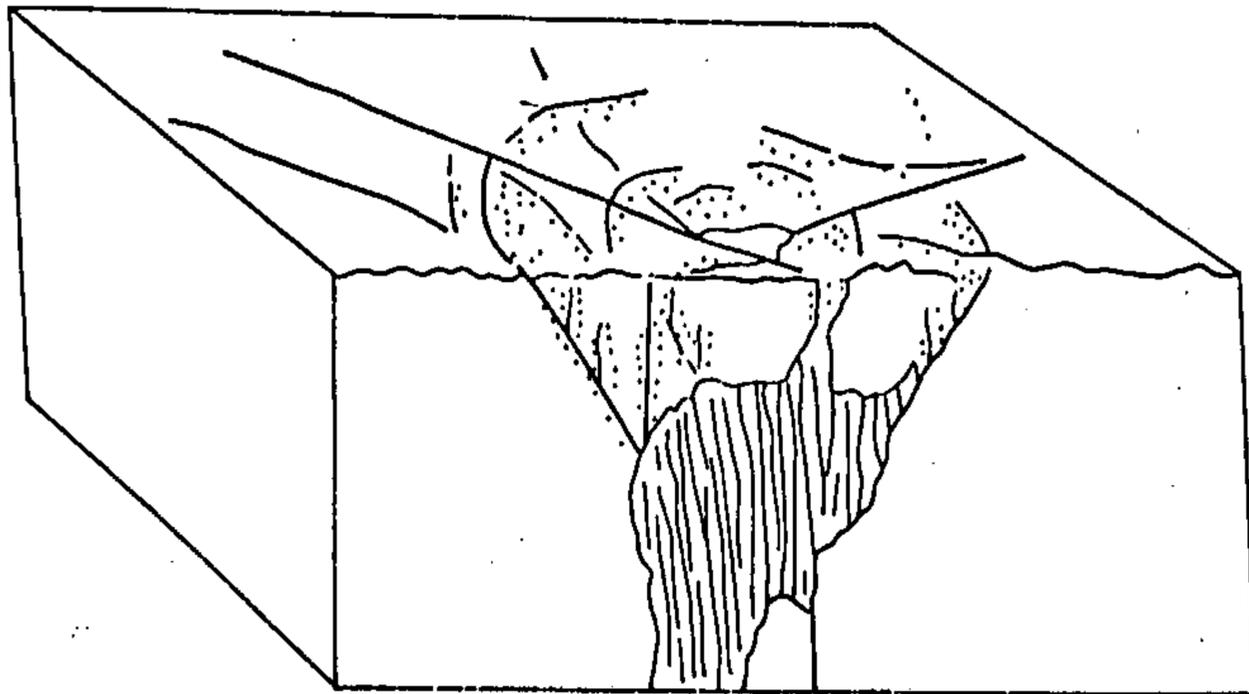


Figura 6.13 - Exemplos de drenagens associadas a feições morfoestruturais, relacionadas a intrusão.

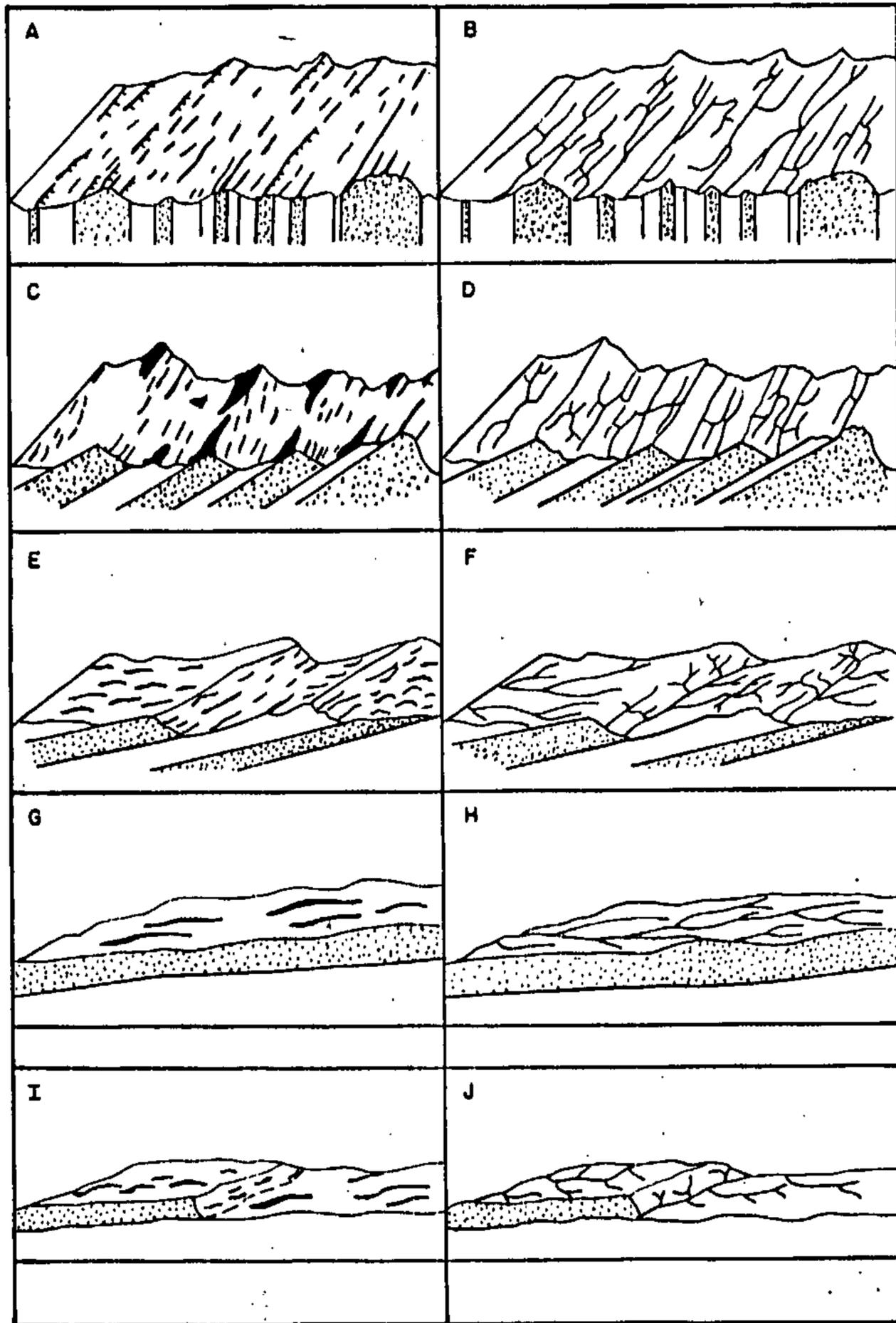


Figura 6.14 - Avaliação da estrutura geológica através das propriedades de relevo e drenagem.

## 6.2 Tonalidade ou Refletância

Entende-se por tonalidade ou refletância, a variação de tons de cinza, que compreende desde o branco, até o negro. Reflete o teor de quartzo, e pode também estar relacionada com a intensidade de umidade e vegetação. Expressa a quantidade de radiação eletromagnética que é detectada pelo sensor, após ser refletida pela superfície terrestre.

É difícil realizar uma perfeita correlação, entre os tons de cinza, com os diferentes tipos de rocha. Isso em função de fatores bem distintos, como a técnica de tomada da fotografia, o filme utilizado, tipo de filtro, método de revelação, além das condições climáticas, que vão influenciar no solo e na vegetação. Conseqüentemente, isto impede o poder de atribuir uma intensidade de cinza, a cada tipo de rocha. Portanto, deve-se confiar apenas, na variação das tonalidades dentro da mesma foto.

Contudo, alguns parâmetros podem ser utilizados de forma ampla, como por exemplo, nas rochas sedimentares de granulação mais fina (siltitos, argilitos e folhelhos), a tonalidade é mais escura, do que nos arenitos e conglomerados, que têm tonalidades claras.

Se uma rocha sofrer intenso fraturamento, poderá assumir uma tonalidade mais escura, se houver acumulação de água nas fraturas.

Com as rochas metamórficas e ígneas, a tonalidade geralmente depende dos minerais presentes em sua composição: os anfíbolitos, diabásios, gabros e basaltos, são em geral de tonalidade escura. A grande quantidade de ferro presente nessas rochas, inibe o poder de refletância das mesmas. Também o manganês, cromo e níquel, que estão contidos, principalmente nas rochas ultrabásicas, influenciam na assinatura espectral, absorvendo a radiação, e conseqüentemente, fornecendo tons cinza-escuros.

Os gnaisses, granitos e quartzitos, apresentam tons claros, em função, não só, da presença dos minerais félsicos, mas sobretudo, o quartzo, que possui alto poder de refletância.

A imagem TM, é a que apresenta maior variação de tons de cinza, em função das sete faixas espectrais detectadas pelo sensor.

A tonalidade fotográfica, pode ser influenciada pela ação antrópica, devendo-se ter precaução, ao analisar as variações de tons nas imagens.

## 6.3 Textura

A textura fotográfica refere-se a um conjunto de pequenos detalhes, que são distinguidos individualmente, através da tonalidade fotográfica de cada um deles. A forma, dimensões, disposições e sombra, desses detalhes, vão contribuir para a formação da imagem

final. Ou seja, textura, é a aparência geral da rocha, na fotografia aérea, ou nas imagens de satélite e radar. Assim, as texturas estão relacionadas à fenômenos associados a cada tipo de rocha, como por exemplo, a porosidade, infiltração de água, formas de dissolução, densidade de encostas, etc. As superfícies graníticas, em geral, apresentam texturas rugosas, em função da irregularidade das mesmas e pela presença de matacões.

As rochas metamórficas, mostram geralmente textura bandada, devido principalmente ao bandamento metamórfico. Já as rochas básicas e ultrabásicas, exibem textura lisa, pois os afloramentos são raros.

Portanto, a textura fotográfica, tem uma íntima relação com a origem da rocha, que influencia na porosidade, permeabilidade, dureza, grau de erosão, etc.

Pode-se designar as texturas através das seguintes denominações:

- Grosseira-fina
- Lisa-áspera
- Uniforme-variada
- Bandada
- Manchada
- Granular
- Linear
- Em blocos
- Lanosa .... etc.

#### 6.4 Vegetação

A presença da vegetação nas imagens de sensores remotos, contribui para destacar sobretudo, as principais feições estruturais e litológicas da área. Por outro lado, uma vegetação muito densa, pode mascarar essas feições.

A vegetação desenvolvida em uma região, dependerá de vários fatores, como a umidade, permeabilidade, formação de solos, etc. Assim, a vegetação está ligada diretamente à litologia e ao clima.

A influência da litologia sobre a vegetação, é um fator importante a ser considerado. Existem alguns tipos de rochas, que devido a sua composição e características próprias, não permitem o desenvolvimento da vegetação sobre elas, é o caso de certos chapadões de arenitos e quartzitos. Outras no entanto, por suas condições especiais de composição, permeabilidade, etc., são favoráveis a cultivos, como os terrenos de calcários do Grupo Una, e as áreas de basaltos da Formação Serra Geral, na Bacia do Paraná.

O clima também influencia consideravelmente para o desenvolvimento da vegetação, através da temperatura e do regime de chuvas. Assim, para cada tipo de clima, existe uma vegetação correspondente, que pode ser, mais ou menos, exuberante.

A tabela 3 (Mekel, 1970), apresenta resumidamente as principais características das imagens de sensores remotos, com respeito a tonalidade, textura, drenagem e propriedades das rochas. Esta tabela poderá auxiliar na legenda de mapas fotogeológicos.

TABELA 3 : CARTA DE INTERPRETAÇÃO FOTOGEOLÓGICA - (Mekel 1970)

CARAC. TERÍSTICAS UNIDADES	CARACTERÍSTICAS DA FOTO						EXPRESSÃO MORFOLÓGICA								COBERTURA			CONCLUSÕES	
	TONALIDADE			TEXTURA			DRENAGEM				PROPRIEDADES DAS ROCHAS				material superficial	vegetação	cultivos ou outra influência humana	Litologia e estrutura prováveis	controle de campo
	rocha	vegetação	Cultivos ou outra influência humana	rocha	vegetação	Cultivos ou outra influência humana	externo ou interno	padrão	densidade	seção do vale	resistência	estratificação	atitude	fraturamento					
A																			
B																			

SÃO USADOS OS SEGUINTE TERMOS DESCRITIVOS

- |  |  |   |  |   |   |
|--|--|---|--|---|---|
| <p><b>TONALIDADE</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>escura</li> <li>cinza - escuro</li> <li>cinza - médio</li> <li>cinza - claro</li> <li>claro</li> </ul> | <p><b>TEXTURA</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>grossa - fina</li> <li>suave - rugosa</li> <li>bandada</li> <li>manchada</li> <li>granular</li> <li>linear</li> <li>em bloco</li> <li>alcochoado</li> <li>lamoso</li> </ul> | <p><b>DRENAGEM</b></p> <p><b>Externa ou interna</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>persistentes</li> <li>linhas de drenagens interrompidas, fenômenos</li> <li>de "const" ausência de drenagem superficial</li> </ul> <p><b>Padrão</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>dendrítico</li> <li>paralelo</li> <li>radial</li> <li>anular</li> <li>meândrico</li> <li>anastomosado</li> <li>anômalo</li> </ul> <p><b>Densidade</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>muito baixa</li> <li>baixa</li> <li>média</li> <li>alta</li> <li>muito alta</li> </ul> <p><b>Seção do vale</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>poço profundo</li> <li>profunda</li> </ul> | <p><b>PROPRIEDADES DAS ROCHAS</b></p> <p><b>Resistência</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>muito alta</li> <li>alta</li> <li>moderada</li> <li>baixa</li> <li>muito baixa</li> </ul> <p><b>Estratificação</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ausente</li> <li>muito espessa</li> <li>espessa</li> <li>bem estratificada</li> <li>muito finamente estratificada</li> </ul> <p><b>Atitude</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>horizontal</li> <li>suave 5-29°</li> <li>moderadamente 30-59°</li> <li>muito inclinada 60-85°</li> <li>vertical</li> </ul> <p><b>Fraturamento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ausente</li> <li>uma direção persistente</li> <li>várias direções não persistente</li> </ul> <p><b>Contatos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>bem marcados persistentes</li> <li>vagos interrompidos</li> </ul> | <p><b>COBERTURA</b></p> <p><b>Material superficial</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ausente</li> <li>muito delgado</li> <li>delgado</li> <li>moderado</li> <li>grosso</li> </ul> <p><b>Vegetação</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ausente</li> <li>escasso</li> <li>moderado</li> <li>denso</li> <li>muito denso</li> </ul> <p><b>Cultivo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ausente</li> <li>escasso</li> <li>comum</li> <li>frequente</li> <li>intenso</li> </ul> | <p><b>CONCLUSÕES</b></p> <p>Provavelmente</p> <p><b>Rochas sedimentares</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>de grão fino</li> <li>de grão grosso</li> <li>carbonosas</li> </ul> <p><b>Rochas intrusivas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>batólitos</li> <li>lacólitos</li> <li>filões (sítis)</li> <li>diátrus</li> </ul> <p><b>Rochas Extrusivas</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>fluxos de lava</li> <li>depósitos de lava</li> </ul> <p><b>Rochas metamórficas</b></p> <p><b>Estrutura</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>ligeiramente dobrada ou folhada</li> <li>moderadamente dobrada ou folhada</li> <li>intensamente dobrada ou folhada</li> </ul> |
|--|--|---|--|---|---|
- Nota:** Deve-se considerar que a resistência e a estratificação combinadas com o clima, determinam configurações como: plana, ondulada, em colinas, montanhosa mesetas ou crestas, trincheiras e cristas

## VII - APLICAÇÕES AO PROGRAMA DE LEVANTAMENTOS GEOLÓGICOS BÁSICOS (PLGB)

A interpretação de imagens de sensores remotos, é imprescindível em qualquer programa de levantamentos geológicos básicos. Os objetivos e metas, a serem obtidos nos mapeamentos geológicos, têm exigido interpretações mais detalhadas dessas imagens.

A pesquisa mineral, também tem requerido estudos minuciosos em áreas mineralizadas, ou potencialmente favoráveis à mineralizações, no sentido de diagnosticar ou auxiliar na indicação do controle da mineralização.

A interpretação digital de imagens, tem sido aplicada em algumas áreas mineralizadas, nas quais as diferenças de tons são imperceptíveis ao olho humano, necessitando de métodos mais sofisticados para obtenção de melhores resultados.

### *7.1 Mapa de Lineações*

Segundo Allum (1966), os lineamentos ocasionados pelos planos de estratificação de camadas sedimentares ou metassedimentares, obedecem aos seguintes princípios: a) devem ser persistentes, seguir a camada ao longo de sua extensão; b) devem ser aproximadamente paralelos; c) tendem a ser encontrados em grupos e não como uma feição isolada, e d) possuem em geral, largura definida, e são limitados em número.

Já os lineamentos resultantes da intersecção de planos "S", com a superfície, devem mostrar segundo o mesmo autor, as seguintes características: a) tendem a ser paralelos entre si, e ocuparem grandes extensões; b) são em geral, muito numerosos, uma vez que o número de planos "S" nas rochas, é muito grande; c) devem ser curtos, uma vez que um plano de foliação, é similar ao outro. Não existe propriedade que possa assegurar a continuação de um dado lineamento.

Assim, o mapa de lineações, contem todas as lineações extraídas das fotografias aéreas, ou das imagens de satélite e de radar.

Para a confecção desse mapa, utiliza-se como base, uma imagem de satélite TM, de preferência, ou mesmo SPOT ou radar, a depender das condições de cada área. Coloca-se um papel acetato, semi-transparente ("overlay") sobre a imagem, e traçam-se todas as lineações visíveis, que tenham significado geológico. Em áreas problemáticas, nas quais as lineações não estejam bem definidas, ou por questões geológicas, ou por falta de nitidez da imagem, ou mesmo em função da presença de nuvens, utilizam-se as fotografias aéreas disponíveis da área, para detalhar essa parte. Em seguida, transportam-se as lineações traçadas nas aerofotos, para o "overlay" situado sobre a imagem. Nessa passagem, as lineações plotadas no "overlay", devem ter as mesmas formas e dimensões que nas fotografias aéreas. Ou seja, é importante expressar em mapa, a mesma forma, dimensão e distribuição das lineações, como elas estão nas fotografias aéreas, pois isto é fundamental para a interpretação fotogeológica.

Segundo os estudos próprios de deformação, os Núcleos Antigos (sem as coberturas superficiais) são caracterizados por padrões complexos de lineações onde existem estruturas mais ou menos circulares (relacionadas a diapiros ou "pods" de foliação) em zonas lineares, estreitas, associadas à cisalhamento. Este padrão complexo não denota uma tendência linear marcante.

Já os Cinturões de Cisalhamento, chamam mais atenção em virtude de possuírem extensas áreas lineares, com intensa deformação. As figuras 7.1 e 7.2 mostram os mapas de lineações das folhas Serrinha e Salgueiro, com as feições inerentes a cada área.

### *7.2 Mapa de Fraturas e Falhas*

Para a confecção do Mapa de Fraturas e Falhas, o procedimento é semelhante, ao que foi adotado no Mapa de Lineações.

Utiliza-se a mesma base que foi empregada na elaboração do Mapa de Lineações, ou seja, uma imagem de satélite TM ou radar. Coloca-se um papel acetato, semi-transparente ("overlay") sobre a imagem, e traçam-se todas as fraturas e falhas, obedecendo as convenções utilizadas no PLGB. Em áreas onde a visualização das fraturas não estão claras, recomenda-se o traçado da drenagem nas fotografias aéreas, e a partir daí, observar os rios controlados, riachos alinhados, angularidade no padrão de drenagem, ou seja, procurar reconhecer as fraturas através dos critérios fotogeológicos estabelecidos no item 5.9.

As falhas, quando também não estiverem evidentes, recomenda-se sua identificação através dos critérios expostos no item correspondente (5.10).

Sempre que houver dificuldade na identificação de fraturas e falhas, deve-se detalhar a drenagem do local analisado. A drenagem fornece dados importantes para esta finalidade.

O mapa de fraturas e falhas, fornece subsídios ao mapa hidrogeológico, que para sua confecção, necessita de informações sobre os "trends" principais de fraturas, locais mais fraturados e também sobre os falhamentos. Também poderá auxiliar ainda, no controle das mineralizações associadas à tectônica rúptil ou indicar áreas prospectáveis.

### *7.3 Mapa Fotogeológico*

Para a elaboração do mapa fotogeológico, é recomendável a interpretação de fotografias aéreas disponíveis da área, utilizando a escala mais apropriada. Como este mapa necessita de mais detalhe, no

SERRINHA  
SQ.24-Y-0

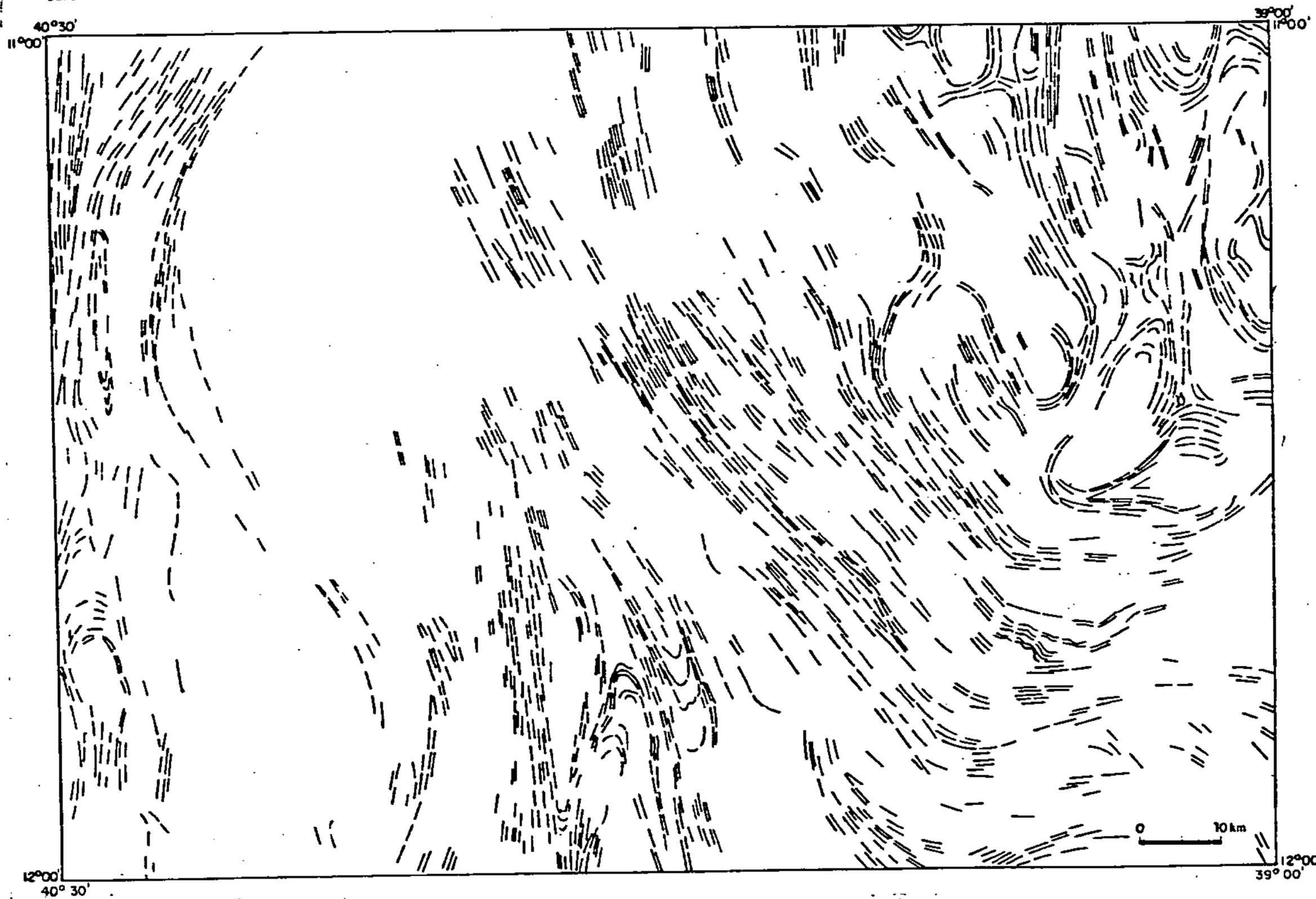


Figura 7.1 - Mapa de lineações da Folha Serrinha, com destaques para a feição linear, localizada na parte central da folha (cinturão de cisalhamento) e as estruturas ovaladas (Núcleo de Serrinha), situadas à nordeste da mesma.

Mapa executado pela SUREG/SA.

Elaborado por: João Batista A. Arcanjo.

SALGUEIRO

SC. 24 - V - 8

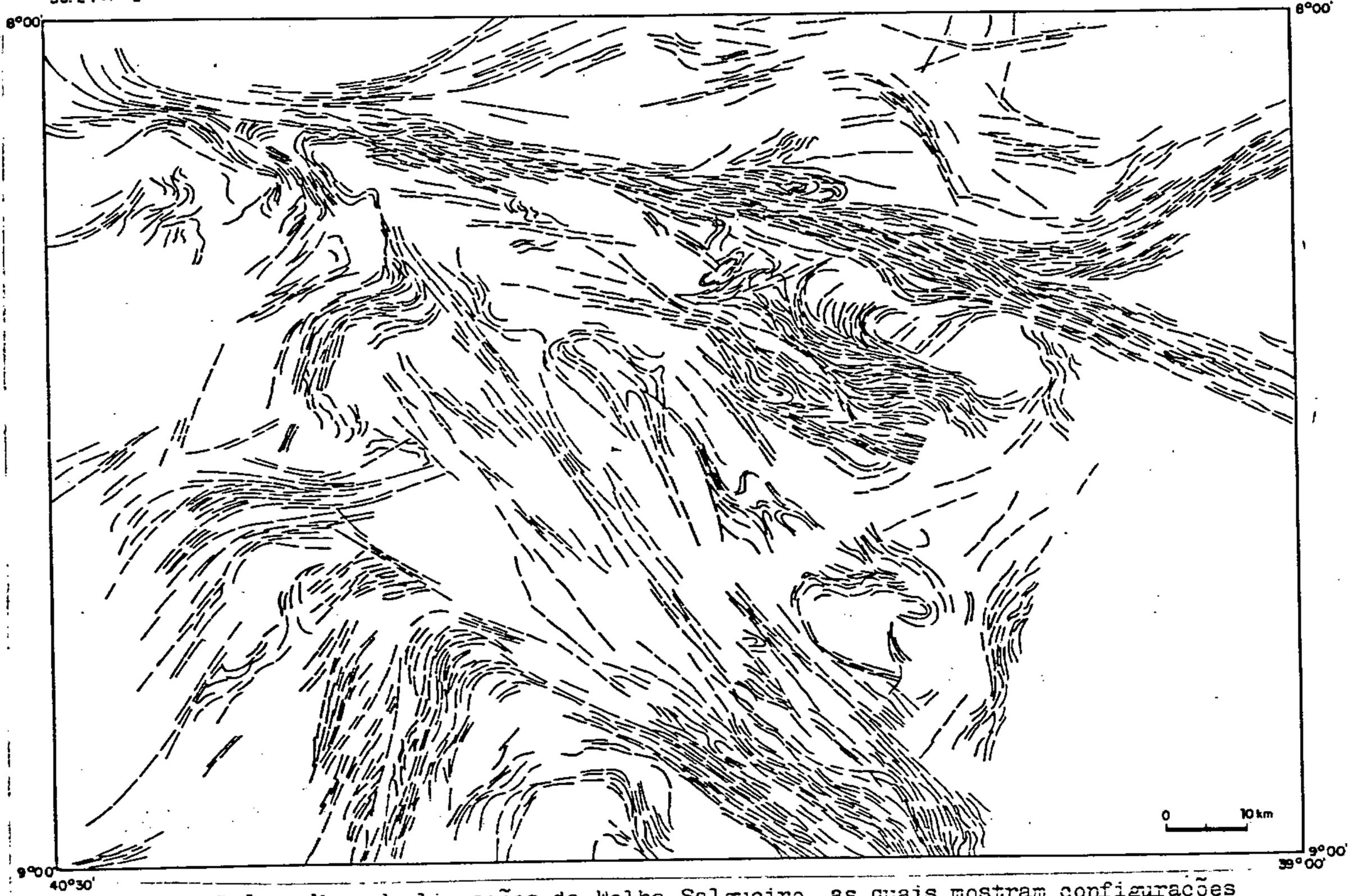


Figura 7.2 - Mapa de lineações da Folha Salgueiro, as quais mostram configurações distintas, com realces para as faixas lineares (zonas de cisalhamento) e as estruturas ovaladas.

Mapa executado pela SUREG/RE.

Elaborado por: Sérgio Montezuma S. Guerra.

que diz respeito a individualização de unidades e níveis litológicos, deve-se utilizar as fotografias aéreas, pelo seu maior poder de resolução espacial, além da visão estereoscópica.

No entanto, muitas informações poderão ser extraídas da imagem, que está funcionando como base cartográfica, principalmente, se a imagem utilizada for TM, que possui maior poder de discriminação litológica. A imagem, também proporciona uma ampla visão sobre a distribuição das unidades litológicas, e permite sobretudo, a comparação entre as feições morfológicas e estruturais de cada uma delas.

Para a execução do mapa fotogeológico, o procedimento mais adequado, é o seguinte:

- 1º - Plotar todas as lineações em traços finos e leves
- 2º - Colocar as principais fraturas e falhas
- 3º - No caso de camadas com mergulho, traçar as atitudes das mesmas, através da assimetria do relevo. As camadas verticais, possuem relevo simétrico.
- 4º - Plotar os eixos das dobras, conforme as atitudes das camadas.
- 5º - A individualização de unidades litológicas, feita através das fotografias aéreas, deve ser realizada segundo os parâmetros morfológicos, estruturais e das características da drenagem, tonalidade, textura e vegetação, conforme foram analisadas nos capítulos anteriores. A convenção empregada para o tipo de contato, entre essas unidades, deve obedecer às normas do PLGB.
- 6º - A cada foto interpretada, os contatos devem ser lançados logo em seguida sobre o "overlay", para que se tenha uma idéia sobre a disposição das unidades, e também para não deixar contatos abertos. Esses limites litológicos lançados sobre o "overlay", acompanharão as mesmas formas como estão nas aerofotos. É importante retratar no mapa o que está na foto.

Camadas horizontais, ou com baixo ângulo de mergulho, possuem contatos reentrantes, mais ou menos paralelos às curvas de nível. Já as camadas verticalizadas, mostram contatos aproximadamente retos.

Os contatos seguem as pendentes estruturais e obedecem a regra dos "Vs".

## *7.4 Mapa de Formações Superficiais*

O mapa de formações superficiais, consiste essencialmente em cartografar essas formações, que são observadas nas imagens de sensores remotos, através das características exibidas pelas mesmas. As propriedades inerentes às formações superficiais, incluem os aspectos externos ou da paisagem, e os internos. Nas fotografias aéreas, são observadas apenas as propriedades externas, as quais se utilizam para classificar essas formações, e traçar os seus possíveis limites. O estudo sobre os aspectos internos, é realizado durante os trabalhos de campo.

O mapa de formações superficiais, fornece dados importantes, principalmente com relação à utilização da terra.

### *7.4.1 Formações Residuais*

As coberturas residuais ou solos, que constituem em geral grandes áreas, são utilizadas na agricultura e agropecuária, a depender de suas propriedades e também das condições climáticas.

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

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

O princípio básico na caracterização dessas áreas, está no fato de que, cada elemento analisado, está relacionado com certas condições do solo. O desenvolvimento das coberturas residuais, depende principalmente das condições climáticas e da rocha subjacente.

As coberturas residuais, apresentam em geral relevo suave, ligeiramente ondulado.

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

A vegetação é essencialmente densa, com árvores de médio a grande porte, a depender das condições climáticas e da rocha subjacente. Os solos provenientes de rocha básica e ultrabásica, são favoráveis ao desenvolvimento de vegetação e são propícios para agricultura.

Pelo estudo da drenagem, obtem-se informações sobre a permeabilidade/infiltração de águas nessas coberturas, fornecendo subsídios à hidrogeologia.

Nas regiões de clima úmido, onde a cobertura residual é espessa, boa parte da água subterrânea pode ser captada da mesma. Trata-se de um aquífero renovável, pela constante precipitação pluviométrica, e com nível freático mais superficial.

#### 7.4.2 Depósitos Fluviais

Os depósitos fluviais, são aqueles que se formam como resultado da deposição dos sedimentos carregados pelas águas dos rios. De acordo com as características da deposição, os sedimentos formam depósitos, cujas propriedades variam em função dos seguintes aspectos: granulometria do material transportado, gradiente do rio, topografia da zona de deposição, hidrologia regional, clima, vegetação e outros fatores.

As aluviões são facilmente identificadas nas fotografias aéreas, não só pela morfologia plana, tabular, mas também pela tonalidade cinza claro, em função da abundância de quartzo. Em alguns casos, pode apresentar tonalidade cinza médio, devido a umidade, ou em função da quantidade de argila e matéria orgânica contida nesses depósitos.

Os terraços são depósitos aluviais que representam antigos leitos de rios (figura 7.3). Possuem superfície plana, tabular, com pequenas escarpas, geralmente verticais.

A tonalidade varia de cinza claro a cinza médio, podendo chegar a tons escuros em função de maior umidade.

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

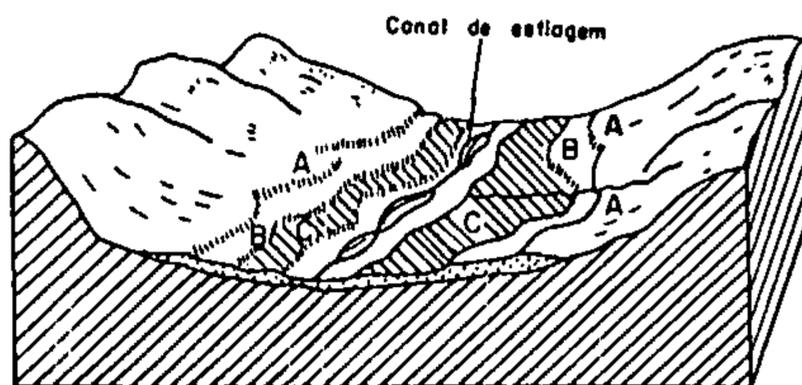


Figura 7.3 - Bloco diagrama mostrando dois níveis distintos de terraços (A) e (B). Em (C), observa-se o leito maior do rio, que aparece colmatado de aluvião. Modificado de Vergara (1971).

As aluviões se constituem em importantes aquíferos, principalmente na região do semi-árido, onde existe escassez de água. Aluviões com cerca de cinco metros de espessura, são bons produtores de água, dependendo da precipitação pluviométrica anual. Na região do semi-árido do Brasil, é aconselhável a execução de cacimbas nas aluviões dos rios intermitentes, para abastecer a população local.

Os cones de dejeção, são depósitos acumulados em zonas mais baixas, ocasionadas por torrentes temporais em região montanhosa (figura 7.4). A identificação fotogeológica está fundamentada no princípio de que, esses cones de dejeção estão sempre situados na desembocadura de uma torrente, e sobre um terreno mais baixo.

A tonalidade é clara, por vezes branca. Nos cones antigos, os tons são mais escuros.

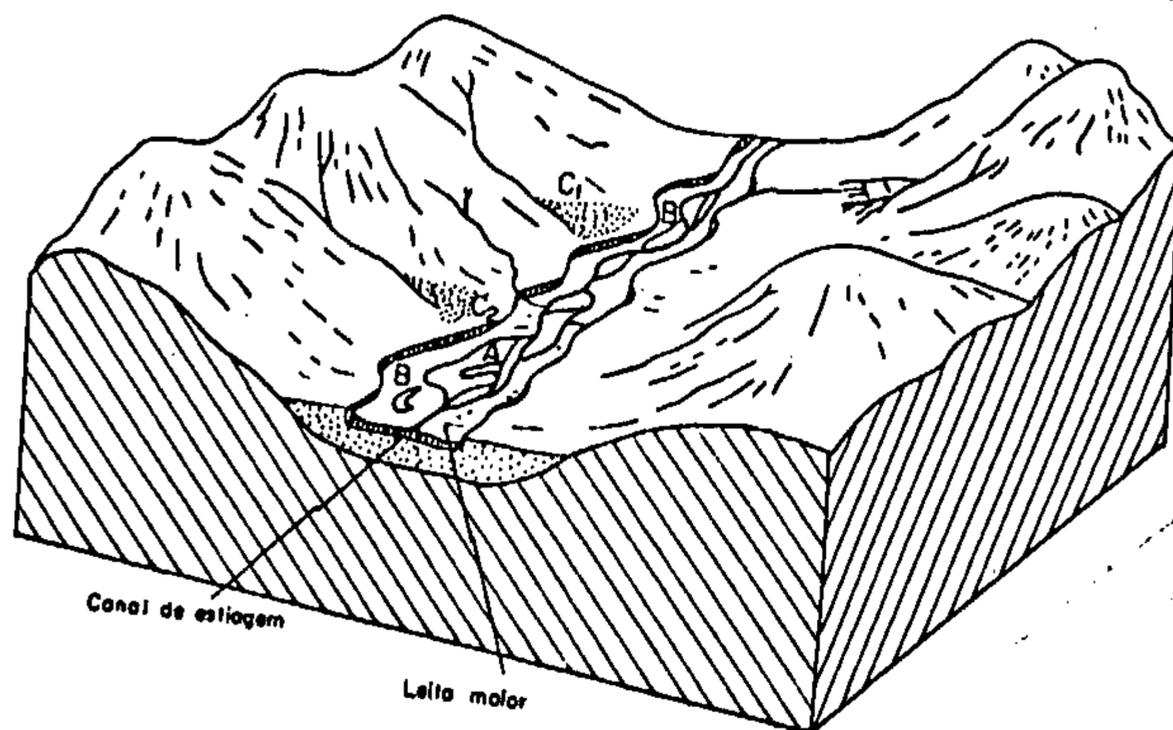


Figura 7.4 - Bloco diagrama de depósitos fluviais. Na figura acima são observados dois meandros abandonados, um dos quais (A) conserva água e o outro (B) está seco. Nas bordas do vale se formam os cones de dejeção (C1) e (C2) na desembocadura dos afluentes. Modificado de Vergara (1971).

Coluviões são depósitos formados nas encostas das serras, através dos materiais desagregados das mesmas e transportados pelas águas pluviométricas. A superfície desses depósitos está mais ou menos adaptada a topografia local onde se encontra.

Fotogeologicamente se identificam facilmente por sua morfologia anômala, em comparação com relevo das áreas adjacentes.

Essas áreas são utilizadas em grande escala para agricultura.

#### 7.4.3 Depósitos Litorâneos

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

imagens de sensores remotos, pelas características morfológicas e pelos tons claros que contrastam com os tons escuros relacionados aos depósitos fluvio-lacustres e de mangues.

Praias são depósitos de areia situados ao longo da costa. Formam estreita faixa em posição subhorizontal, com suave pendente para o mar. Nas fotografias aéreas apresentam tons claros a brancos.

As dunas são identificadas nas aerofotos, não só por sua forma peculiar, realçadas pelas sombras, mas também pela tonalidade clara, proveniente das areias.

Os cordões litorâneos ou restingas, que são depósitos essencialmente de areia, constituem franjas paralelas a linha de costa.

Possuem relevo plano, com suaves ondulações.

A tonalidade apresenta uma série de estreitas faixas paralelas, 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 se formam nas desembocaduras dos rios, através de sedimentos carreados pelos mesmos. A forma que adquire o depósito depende de vários fatores, entre eles, a textura dos sedimentos transportados pelo rio 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 (figura 7.5).

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.

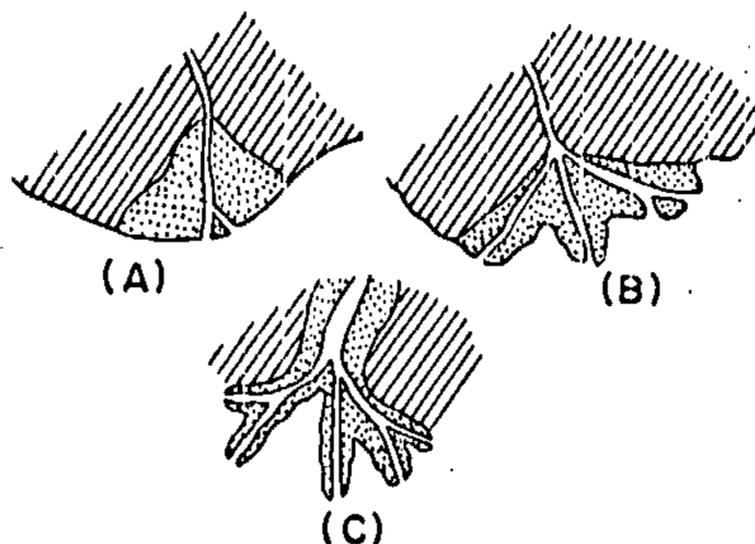
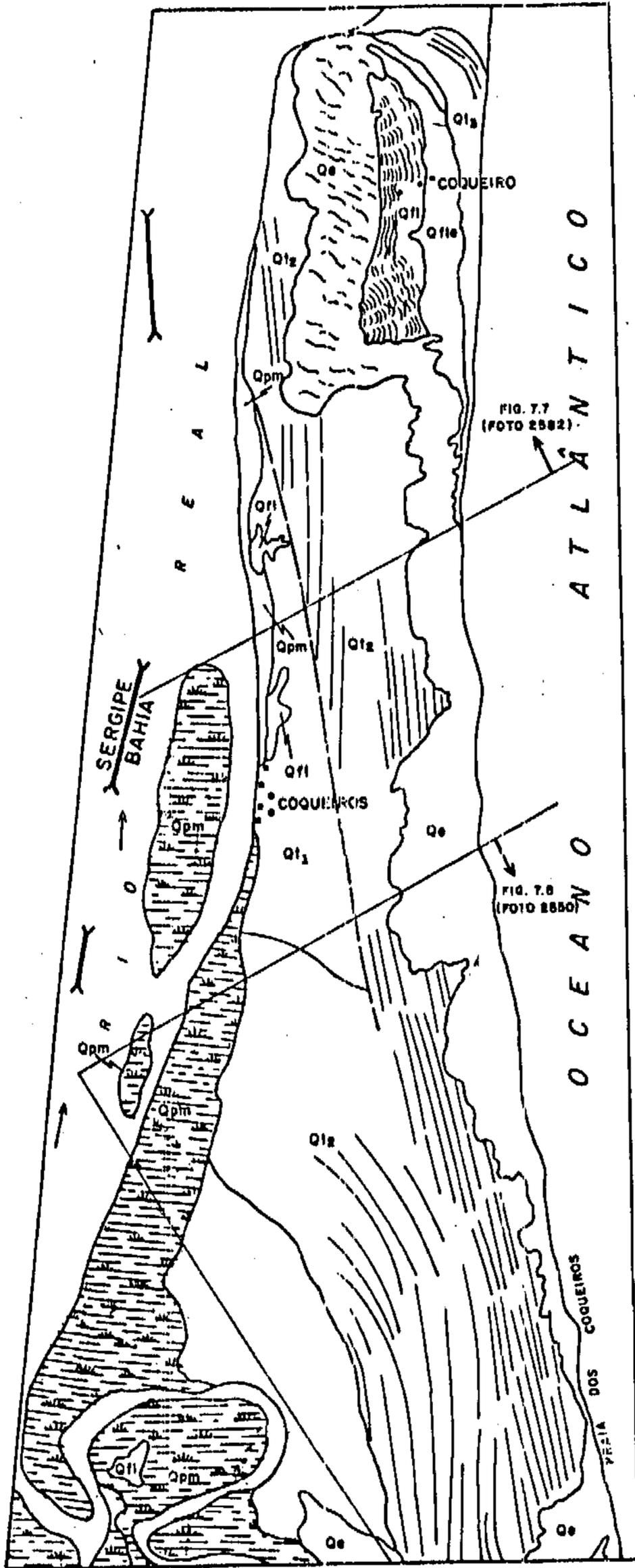


Figura 7.5 - Tipos de deltas. (A) Arredondado, (B) lobulado e (C) digitado.



LEGENDA

Q1, Q2, Q3 - Depósitos sucessivos de cordões litorâneos

Qfl - Depósitos flúvio-lacustres

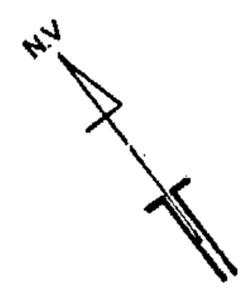
Qe - Depósitos eólicos (dunas)

Qfle - Depósitos mistos (eólicos flúvio-lacustres)

Qpm - Depósitos de pântanos e mangues

Lineação

Falha (neotectónica)



ESCALA APROXIMADA  
1 : 40.000

Fig. 7.6. Mapa Fotogeológico da Região de Mangue Seco (BA), com Representação das Formações Superficiais Litorâneas.

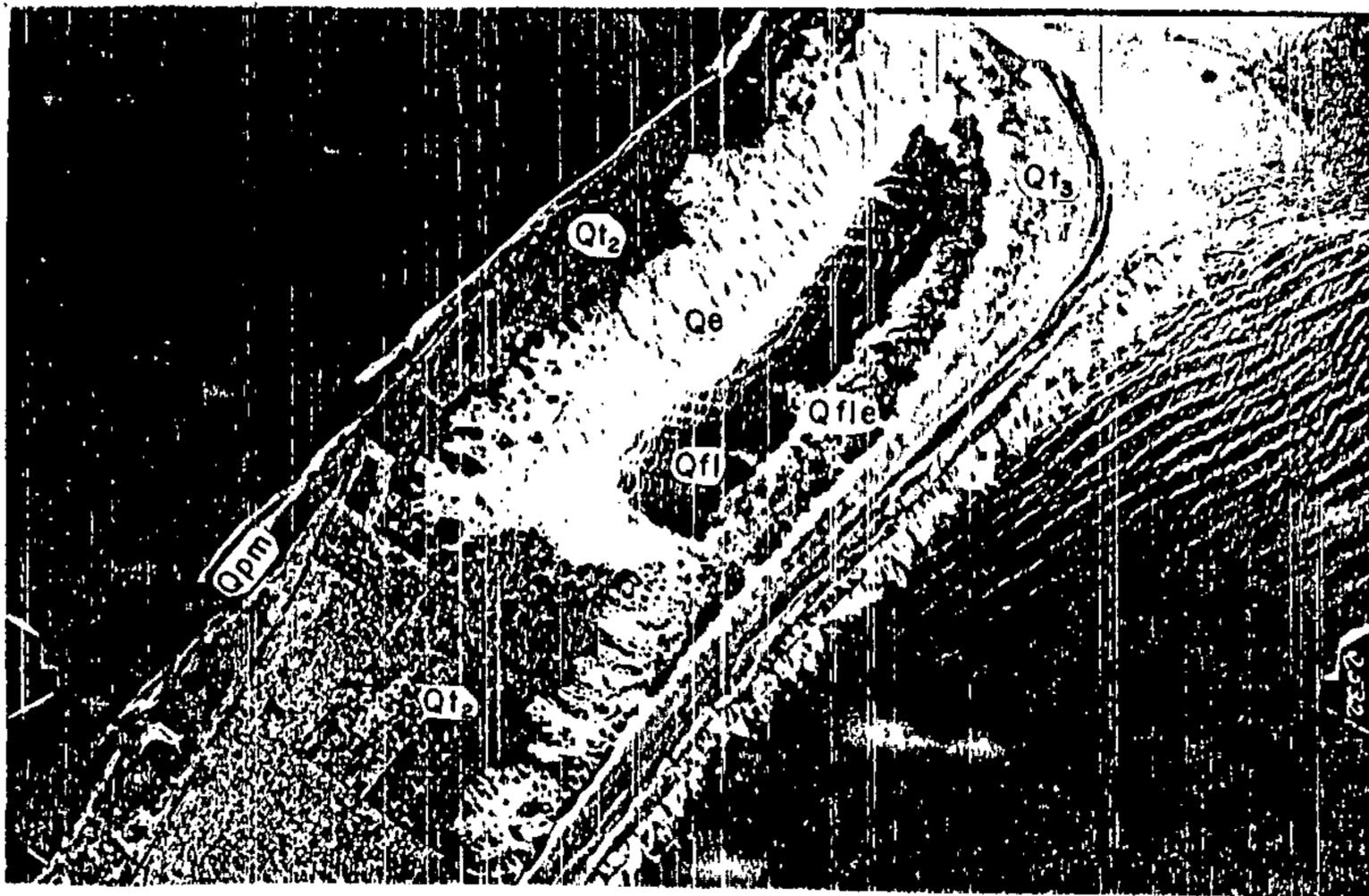


Fig. 7.7 (Foto 2532). Escala aproximada 1:30.000. Comparação entre as feições fotográficas com o mapa fotogeológico (Fig. 7.6), destacando-se os depósitos de cordões litorâneos (Qt<sub>1</sub>, Qt<sub>2</sub> e Qt<sub>3</sub>), fluviolacustres (Qfl), eólicos (Qe), eólicos/fluviolacustres (Qfle) e mangues (Qpm). Observa-se uma feição linear truncando os cordões litorâneos (Qt<sub>2</sub>), provavelmente relacionada a neotectônica.

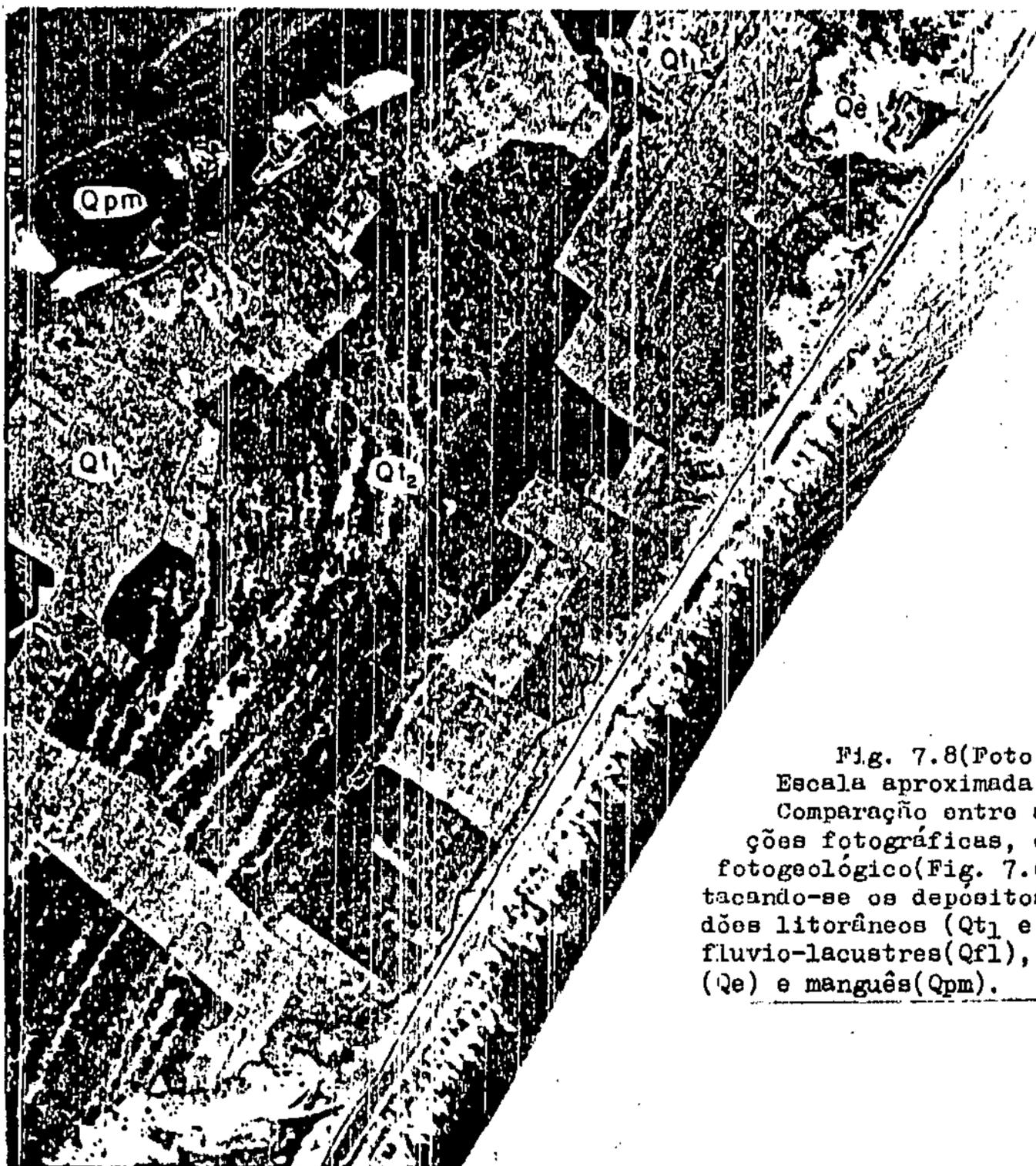


Fig. 7.8 (Foto 2550). Escala aproximada 1:20.000. Comparação entre as feições fotográficas, e o mapa fotogeológico (Fig. 7.6), destacando-se os depósitos de cordões litorâneos (Qt<sub>1</sub> e Qt<sub>2</sub>), fluviolacustres (Qfl), eólicos (Qe) e mangues (Qpm).

## 7.5 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 a pesquisa mineral, três casos básicos podem ser considerados:

19) 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, zonas de cisalhamento, etc. partindo-se do princípio, de que, os jazimentos minerais estão geralmente relacionados a controles estruturais e/ou litológicos. Estas estruturas, servem de condutos aos mágnas carregados de minerais, bem como soluções e gases que vão gerar as mineralizações.

20) 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 à 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 geralmente está nas charneiras, mas pode também se deslocar para os limbos, com a evolução do dobramento.

As zonas de cisalhamento, por serem locais de fácil percolação de fluidos, são favoráveis à concentrações de minerais. As características de zonas de cisalhamento estão expostas no item 5.11. Importantes mineralizações de ouro, associadas à zonas de cisalhamento, são descritas na literatura.

Os critérios estratigráficos, são importantes na busca de depósitos sedimentares, singenéticos, que estejam associados com camadas sedimentares litologicamente favoráveis (Pedreira, 1986). 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 existe controle geomorfológico, as aerofotos podem contribuir consideravelmente na busca dos parâmetros idênticos, aos das concentrações minerais já conhecidas.

39) Área Mineralizada, cujo Controle é Desconhecido. Este caso, acontece sobretudo, em regiões intensamente 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 consideravelmente, 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 detectados 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.

## BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- ALLUM, J.A.E. *Photogeology and Regional Mapping*. London; Pergamon, 1966. 107p.
- ARCANJO, J.B.A. *Relatório sobre o curso de fotointerpretação de imagens Landsat*. Salvador: CPRM, 1977. 10p. Trabalho Interno.
- ARCANJO, J.B.A. (comp.) *Anotações do curso sobre fotointerpretação ministrado pelo Prof. Paulo Cesar Soares*. Atibaia, S.P., 1991. Salvador: CPRM, 1991. Trabalho Interno.
- BANDAT, H.F. von. *Aerogeology*. Huston: Gulg Publishing, 1962, 350p. il.
- BARBOSA, M.N., CUNHA, R.P. Sensoriamento remoto, a terra vista do espaço. *R. Bras. Tecnol.*, Brasília, v. 18, n. 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: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO. 2, 1982. Brasília *Anais... Is.1.1*: INPE, 1982. v.1. p.25-38.
- 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: CONG. BRAS. GEOL., 34, 1986, Goiânia. *Anais... Goiânia*: SBG, 1986. v.6. p.2.973-2.983.
- ES, E. von. *El uso de fotografías aéreas en la exploracion para yacimientos económicos*. Bogotá: CIAF, 1972. 29p.
- FAGUNDES FILHO, E.S. Análise integrada dos produtos de sensoriamento remoto em levantamentos geológicos básicos. In: CONG. BRAS. GEOL., 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. *R. Bras. Geoc.*, v.19, n.2, p.207-223, 1989.
- 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.
- GUY, M. Quelques principes et quelques experiences sur la methodologie de la photo-interpretation. In: SYMPOSIUM INTERNATIONAL DE PHOTO-INTERPRETATION, 2, 1966, Paris. *Acte... Paris*: Is.n.1, 1966 p.21-41.

- HASUI, Y., COSTA, J.B.S. *Zonas e Cinturões de Cisalhamento*. Belém: UFPA., 1991. 144p.11.
- LEMOS, J.C. Uso de sensoriamento remoto na prospecção mineral. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATORIAS EM GEOLOGIA, 2, 1979. Gravatal. *Anais...* 1s.1.1: DNPM, 1979. p.347-349.
- LIMA, M.I.C. de. Modelos radargráficos de estruturas circulares na região amazônica. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS EM GEOLOGIA, 2, 1979, Gravatal. *Anais...* 1s.1.1: DNPM, 1979. p.319-329.
- LIMA, M.I.C. de. *Curso Introdução à Interpretação Radargeológica*. Salvador: IBGE/DRM-BA, 1987. p.irreg.
- LIMA, M.I.C. de. Identificação de redobramentos em imagens de radar (SLAR). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS APLICADAS À GEOLOGIA, Salvador, 1984. *Anais...* Salvador: SBG-Núcleo-BA, 1984. p.215-230.
- LIMA, M.I.C. de. Aplicabilidade de radares de visada lateral na pesquisa geológica da Amazônia Brasileira: GEMS versus SIR-A. In: CONG. BRAS. GEOL., 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. 528p.11.
- LUI, C.C., VITORELLO, I., MENESES, P.R. Alguns aspectos das informações geológicas contidas em imagens Landsat. In: CONG. BRAS. GEOL., 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: ITC TEXTBOOK OF PHOTO-INTERPRETATION. Delft: ITC, 1970. v.8. cap.8.1.
- MENESES, P.R. Sensoriamento remoto como técnica de prospecção mineral. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE TÉCNICAS EXPLORATÓRIAS APLICADAS À GEOLOGIA, Salvador, 1984. *Anais...* Salvador: SBG-Núcleo-BA, 1984. p.231-249.
- MENESES, 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 de semidetalhe*. Tese (Doutoramento Geologia Geral - Inst. de Geociências-USP) São Paulo, 1986. 232p.11.
- MENESES, P.R., MELLO, A.F., SANO, E.E. Integração de dados de Sensoriamento remoto para a pesquisa hidrogeológica em áreas cársticas. In: CONG. BRAS. GEOL., 36, 1990, Natal. *Anais...* Natal: SBG-Núcleo-NE, 1990. v.2. p.1.011-1.018.

- NOVAES, R.A., MARTINI, P.R. Perspectivas em sensoriamento remoto no Brasil: 1982-1986. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2. Brasília, 1982. *Anais...* Is.1.1: INPE, 1982. v.1.
- NOVO, E.M.L.M. *Sensoriamento remoto: princípios e aplicações*. São Paulo: Edgard Blucher, 1989. 308p.il.
- PARADELLA, W.R. *Discriminação de unidades litológicas no Baixo Vale do Rio Curuçá (Bahia), através de realces por processamento digital de dados MSS-LANDSAT 3*. Tese (Doutoramento Geologia Geral - Inst. de Geociências - USP) São Paulo, 1983. 239p.il.
- 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 Curuçá, Bahia. *R. Bras. Geoc.*, 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 Maracanaí e Malcuru (Pará). In: CONG. BRAS. GEOL., 34, 1986. Goiânia. *Anais...* Goiânia: SBG, 1986. v.6. p.2.951-2.964.
- 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 GEOLÓGIA, 2, 1979, Gravataí. *Anais...* Is.1.1: 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: CONG. BRAS. GEOL., 31, 1980. Camboriú. *Anais...* Florianópolis: SBG, 1980. v.5. p.2.959-2.964.
- PARADELLA, W.R., VITORELLO, I. Sensores remotos na geologia: tendência atual e perspectivas futuras com dados de satélites. *Ciências da Terra*, Salvador, n.5, p.19-23, 1982.
- PEDREIRA, A.J. *Fotogeologia: curso básico para geólogos da CPRM*. Salvador: CPRM, 1986. 149p. 26 estampas. Inédito.
- RICCI, M., PETRI, S. *Princípios de aerofotogrametria e interpretação geológica*. São Paulo: Nacional, 1965. 226p.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. 62p.
- 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 à prospecção mineral regional de depósitos de ferro da porção Norte do Estado da Bahia através de imagens digitais do TM Landsat 5. In: CONG. BRAS. GEOL., 35, 1988, Belém. *Anais...* Belém: SBG, 1988. v.6. p.2.383-2.388.
- 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 Geológica 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...* Is.1.1: 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. *Geol. Soc. of Am. Bull.*, v.99, n.12, p.748-762, 1987.
- VALENTE, C., VENEZIANI, P. Uso da tecnologia de sensoriamento remoto para estudos estruturais e de prospecção mineral. In: CONG. BRAS. GEOL., 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 Agustín Codazzi, 1966. 131p.il.
- VERGARA, M.L.L. *Manual de Fotogeologia*. Madrid: J.E.N., 1971. 286p. 11. Texto e lâminas.
- VITORELLO, I. Sensoriamento remoto de recursos minerais e energéticas na década de oitenta. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2, 1982. Brasília. *Anais...* Is.1.1: INPE, 1982. v.1. p.83-90.

PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS SENSORES

APLICADOS A GEOLOGIA

CARACTERÍSTICAS	L A N D S A T		S P O T	R A D A R	FOTOGRAFIAS AÉREAS
	1 - 2 - 3	4 - 5(TM)			
ENERGIA UTILIZADA	Eletromagnética		Eletromagnética	Microondas	Eletromagnética
ALTITUDE	920 km	705 km	830 km	-	-
FAIXA IMAGEADA	185 km	185 km	117 km	-	-
IMAGEAMENTO DA TERRA	18 dias	16 dias	26 dias	-	-
HORÁRIO DE PASSAGEM	9:15 hs	9:45 hs	10:30 hs	-	-
NÚMERO DE BANDAS	4	7	4	-	Visível
RESOLUÇÃO ESPACIAL	80 m	30 m	MMS - 20 m Pancromático - 10 m	Determinada pela duração do pulso e pela dimensão da antena	Depende da resolução das lentes, da resolução do filme e das perdas de informações na revelação.
ÓRBITA PERCORRIDA	103 min	98 min	101 min	-	-
NÍVEIS DE CINZA	64 e 128	256	256	-	-
ANO DE LANÇAMENTO	LANDSAT - 1 1972 LANDSAT - 3 1978	1984	1986	1960	1859
VANTAGENS E LIMITAÇÕES	<p>Os sensores não-fotográficos (LANDSAT e SPOT) operam numa ampla faixa do espectro eletromagnético, que se estende do ultravioleta às microondas.</p> <p>Aquisição de dados em forma de sinais elétricos são passíveis de transmissão à distância.</p> <p>Os produtos do TM, mostram-se em princípio, mais promissores do que os SPOT, para aplicações geológicas, devido às faixas espectrais escolhidas.</p>		<p>Possibilidade de operar no escuro e sob condições meteorológicas adversas.</p> <p>Aplicação em regiões tropicais com cobertura de nuvens. Adequado para região amazônica.</p> <p>Sistema com alta frequência tende a suprimir detalhes de vegetação, enfatizando a topografia.</p> <p>A absorção e o espalhamento atmosférico são menores do que em sistemas no visível e infravermelho.</p>	<p>Possibilidade de operar no escuro e sob condições meteorológicas adversas.</p> <p>Aplicação em regiões tropicais com cobertura de nuvens. Adequado para região amazônica.</p> <p>Sistema com alta frequência tende a suprimir detalhes de vegetação, enfatizando a topografia.</p> <p>A absorção e o espalhamento atmosférico são menores do que em sistemas no visível e infravermelho.</p>	<p><u>Vantagens</u></p> <p>Os sistemas fotográficos apresentam maior resolução espacial, que os outros sensores.</p> <p>Visão estereoscópica.</p> <p>Produtos facilmente processados e interpretados.</p> <p>Boa orientação espacial, requerendo pouco esforço na correção geométrica.</p> <p>Fotografias pancromáticas disponíveis a preços baixos.</p> <p><u>Desvantagens</u></p> <p>Levantamentos restritos a comprimentos de ondas entre 0,35 a 0,90 <math>\mu</math>m e altamente afetadas pela atmosfera.</p> <p>Aquisição fotográfica realizada somente com boas condições meteorológicas e de visibilidade.</p>