

## **General Disclaimer**

### **One or more of the Following Statements may affect this Document**

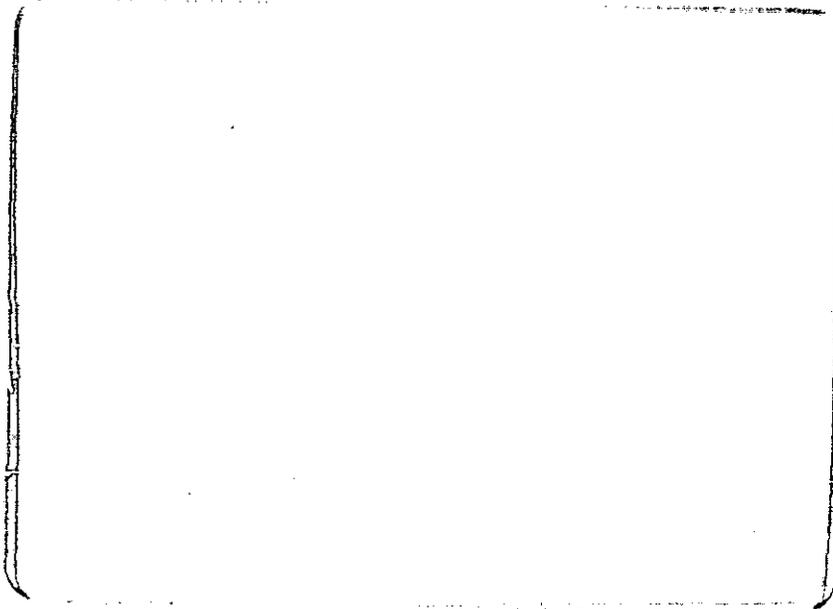
- This document has been reproduced from the best copy furnished by the organizational source. It is being released in the interest of making available as much information as possible.
- This document may contain data, which exceeds the sheet parameters. It was furnished in this condition by the organizational source and is the best copy available.
- This document may contain tone-on-tone or color graphs, charts and/or pictures, which have been reproduced in black and white.
- This document is paginated as submitted by the original source.
- Portions of this document are not fully legible due to the historical nature of some of the material. However, it is the best reproduction available from the original submission.

NASA-CR-168559



SECRETARIA DE PLANEJAMENTO DA PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA  
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

E85-10007



ERTS

RECEIVED BY  
NASA STI FACILITY

DATE:

12-25-84

DCAF NO.

002949

PROCESSED BY

- NASA STI FACILITY
- ESA - SDS  AIAA

(E85-10007 NASA-CR-168559) HYPOTHESIS ON  
THE ORIGIN OF LINEAMENTS IN THE LANDSAT AND  
SLAR IMAGES OF PRECAMERIAN SOIL IN THE LOW  
CONTAS RIVER VALLEY (SOUTHERN BAHIA)  
(Instituto de Pesquisas Espaciais, Sao Jose) 63/43

N85-11420

Unclas  
00007



INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

1. Publicação nº INPE-3287-RPE/467	2. Versão	3. Data Setembro, 1984	5. Distribuição <input type="checkbox"/> Interna <input checked="" type="checkbox"/> Externa <input type="checkbox"/> Restrita
4. Origem DSR	Programa RECSAT		
6. Palavras chaves - selecionadas pelo(s) autor(es) SENSORIAMENTO REMOTO                      SUL DA BAHIA GEOLOGIA ESTRUTURAL LINEAMENTOS			
7. C.D.U.: 528.711.7:551.243.8 (814.2)			
8. Título  UMA HIPÓTESE SOBRE A ORIGEM DOS LINEAMENTOS DAS IMAGENS LANDSAT E SLAR NOS TERRENOS PRÉ-CAMBRIANOS DO BAIXO VALE DO RIO DE CONTAS(SUL DA BAHIA)		10. Páginas: 28	
		11. Última página: 21	
		12. Revisada por  Waldin Renato Paradella Waldir Renato Paradella	
9. Autoria Chan Chiang Liu José Eduardo Rodrigues		13. Autorizada por  Parada Nelson de Jesus Parada Diretor Geral	
Assinatura responsável <i>Liu Chan Chiang</i>			
14. Resumo/Notas O exame das imagens LANDSAT e de radar (SLAR) do sul da Bahia revela inúmeras feições lineares que podem ser agrupadas em cinco sistemas conforme suas direções: N65°E, N70°W, N45°W, N40°E e NS/N15°E. Com base em suas expressões topográficas, seus padrões de distribuição, espaçamento entre lineamentos individuais e seu relacionamento mútuo, os sistemas N65°E e N70°W, assim como os sistemas N40°E e N45°W, podem ser considerados como dois pares de fraturas conjugadas de cisalhamento, sendo o primeiro o mais antigo e mostra-se sempre cortado pelo outro. Os ângulos de conjugação medem 45° e 85°, com bissetrizes em direção aproximada E-W e NS, respectivamente. De acordo com a proposta de Badgley sobre os ângulos conjugados de cisalhamento, o primeiro par acima citado deve ter sido causado por: (a) movimentos verticais, e a bissetriz de seu ângulo conjugado seria paralela ao eixo de um sistema de dobras ou korsts; (b) compressão de direção E-W, sob condições de pressão confinante e temperaturas baixas (hipótese mais provável). O outro par conjugado (N40°E e N45°W) deve estar relacionado a movimentos horizontais, e a bissetriz de seu ângulo de conjugação é paralela à direção de uma forte compressão de direção N-S. Os lineamentos do sistema NS/N15°E, muito conspícuos nas imagens orbitais, cortam todos os outros sistemas e devem representar falhas de empurrão geradas por um intenso esforço compressional de direção EW. Assim, pode ser considerada a existência de, no mínimo, três estágios de atividade tectônica.			
15. Observações			

### ABSTRACT

Examination of LANDSAT and SLAR images in southern Bahia reveals numerous linear features, which can be grouped in five sets, based on their trends:  $N65^{\circ}E$ ,  $N70^{\circ}W$ ,  $N45^{\circ}W$ ,  $N40^{\circ}E$  and  $NS/N15^{\circ}E$ . Owing to their topographic expressions, distributive patterns, spacing between individual lineaments and their mutual relationships, the lineament sets of  $N65^{\circ}E$  and  $N70^{\circ}W$ , as well as the sets of  $N40^{\circ}E$  and  $N45^{\circ}W$ , can be considered as two groups of conjugate-shear fractures and the former is older and is always cut by the latter. Their conjugate-shear angles are  $45^{\circ}$  and  $85^{\circ}$  and their bisector lines are approximately in east-west and north-south directions, respectively. According to Badgley's argumentation on the conjugate-shear angles, the former conjugate-shear fractures would be caused by: (a) vertical movements, and the bisector of their conjugate angle would be parallel to the long axis of horsting or folding or (b) by a compressive force in the east-west direction and under a condition of low confining pressure and temperature. Another conjugate pair ( $N45^{\circ}W$  and  $N40^{\circ}E$ ) would be caused by horizontal movements and the bisector of their conjugate-shear angle would be parallel to a strong compressional force in the north-south direction. The lineaments of  $NS/N15^{\circ}E$  trends, which are strongly exhibited by the images, cut and transverse all the former and would be a series of thrusts caused by a strong compressional force in the east-west direction. Consequently, it can be considered that the area of study would undergo at least three facies of the tectonic movements.

## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS .....	v
1. <u>INTRODUÇÃO</u> .....	1
2. <u>NOMENCLATURA E DEFINIÇÕES</u> .....	2
3. <u>AS IMAGENS LANDSAT E SLAR</u> .....	3
4. <u>INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS</u> .....	6
5. <u>CLASSIFICAÇÃO DOS LINEAMENTOS</u> .....	8
6. <u>INFERÊNCIA TECTÔNICA E ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS</u> .....	18
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	21

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

- iii -

PAGE ii INTENTIONALLY BLANK

## LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
1.1 - Localização da área estudada .....	02
3.1 - Geometria da iluminação no sistema SLAR .....	05
3.2 - Formação de sombras no sistema SLAR .....	06
5.1 - Mapa dos lineamentos extraídos das imagens MSS-LANDSAT .....	10
5.2 - Mapa dos lineamentos extraídos do mosaico de radar .....	11
5.3 - Mapa do sistema de lineamentos com "trend" N70°W .....	13
5.4 - Mapa do sistema de lineamentos com "trend" N65°E .....	14
5.5 - Mapa do sistema de lineamentos com "trend" N45°W .....	15
5.6 - Mapa do sistema de lineamentos com "trend" N40°E .....	16
5.7 - Mapa do sistema de lineamentos com "trend" NS/N15°E .....	17
6.1 - Representação esquemática dos sistemas de lineamentos .....	19

PRECEDING PAGE BLANK NOT FILMED

- v -

## 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem havido um considerável aumento no interesse pelo estudo dos lineamentos, em conexão com a demanda de novos métodos de investigações geológicas e com o desenvolvimento tanto das técnicas de sensoriamento remoto quanto de idéias sobre as fraturas de âmbito planetário.

A observação de diferentes tipos de imagens da superfície terrestre, obtidas a grandes altitudes por aeronaves ou espaçonaves, permite aos geólogos uma visão sinótica de extensas áreas e a visualização de um grande número de feições lineares. A vantagem do uso de imagens de grande altitude está ligada à possibilidade de reconhecimento e análise do "fabric" estrutural de uma região, ou seja, dos sistemas dominantes de feições lineares, relacionados ao arcabouço tectônico (Lee et alii, 1974).

Para a execução deste trabalho, foi escolhida uma área de cerca de 3282 km<sup>2</sup>, localizada no sul da Bahia e cortada pelo rio de Contas e o seu principal tributário, o rio Gongoji. Esta área pode ser delimitada pelos paralelos 14<sup>o</sup>07' e 14<sup>o</sup>28' Sul e pelos meridianos 38<sup>o</sup>57' e 39<sup>o</sup>44' Oeste (Figura 1.1).

O objetivo deste estudo é mostrar que o sensoriamento remoto pode permitir a definição e análise das feições lineares naturais, observadas com clareza nas imagens LANDSAT e SLAR dos terrenos pré-cambrianos do sul da Bahia, bem como a inferência sobre a natureza das forças tectônicas responsáveis pelos padrões estruturais regionais encontrados.

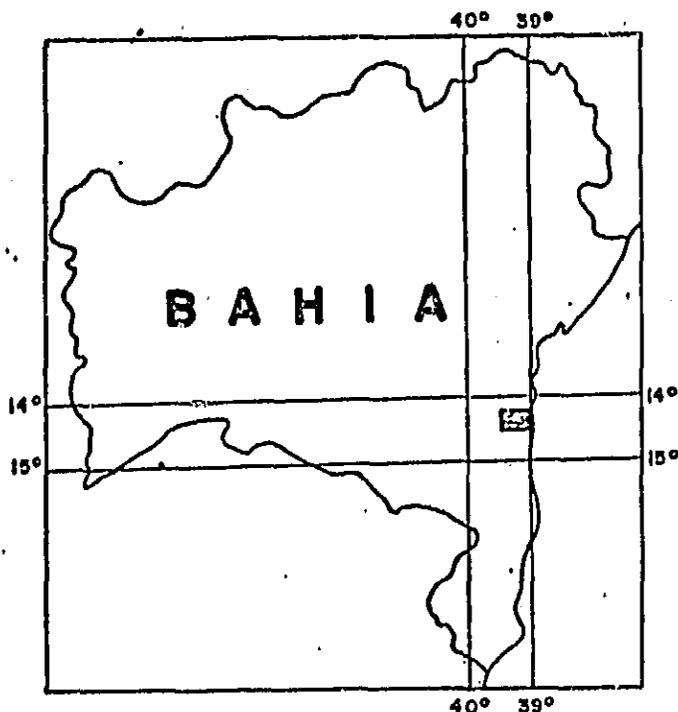


Fig. 1.1 - Localização da área estudada.

Para a realização dos trabalhos foram utilizadas as imagens INPE/LANDSAT-173207-120808-6 (Canal 6) e INPE/LANDSAT-173207-120808-7 (canal 7) de 26/07/73, as quais apresentam azimute solar de  $49^{\circ}$  e ângulo de elevação solar de  $39^{\circ}$ , e o mosaico de radar do Projeto RADAMBRASIL correspondente à área escolhida (SD24-Y-B), todos em escala de 1:250.000.

Esta publicação pretende apenas divulgar os resultados fotointerpretativos obtidos sem confirmação de campo. Por isto, espera-se que, no futuro, possa ser verificada a consistência desses lineamentos e determinados quais desvios nos seus padrões podem estar relacionados com as variações litológicas do complexo pré-cambriano.

## 2. NOMENCLATURA E DEFINIÇÕES

No início deste século, o geólogo norte-americano William Herbert Hobbs notou a associação entre as falhas verticais retilíneas e as feições topográficas também retilíneas, propondo o termo *lineamen*

to para as linhas do relevo que revelam a arquitetura oculta do embasamento. Durante as décadas que se seguiram, muitas definições foram elaboradas e muitos termos adicionais foram erroneamente utilizados como sinônimo de lineamento, tais como: linear, "trend" linear, lineação, fratura, traço de fratura, etc. Não se deve esquecer que a confusão causada por esta proliferação de termos tendeu a obscurecer a importância geológica dos lineamentos. Além disso, os termos e definições adicionais são, com frequência, vagos e contraditórios, de forma que é necessário discutir a terminologia e os conceitos antes do significado real dos lineamentos fotointerpretados.

Nesta publicação, as palavras *linear* e *lineamento* são usadas conforme a definição adotada por Sabins (1978), o qual concorda integralmente com O'Leary et alii (1976) que linear deve ser usado apenas como um adjetivo para descrever a forma de um objeto ou de um arranjo de objetos alinhados. *Feição linear* é um bom termo, informal, para descrever objetos quanto à sua geometria, sem implicação genética ou estrutural. A expressão *lineamento* é definida por Sabins (1978) como uma feição linear topográfica ou tonal, no terreno, foto ou mapa, que pode representar uma zona de fraqueza estrutural. As expressões topográficas dos lineamentos são as formas de relevo retilíneas ou suavemente encurvadas (escarpas, limites entre terrenos diferentes, vales ou segmentos de vales, rupturas em terrenos uniformes, etc.). Os lineamentos tonais podem ser representados por limites retilíneos entre unidades com contraste tonal ou por uma faixa retilínea inserida num terreno contrastante.

### 3. AS IMAGENS LANDSAT E SLAR

A ampla cobertura das imagens LANDSAT e dos mosaicos de radar permite aos geólogos uma visão integrada de extensas áreas e favorece a observação das grandes feições geológicas. A maior ou menor facilidade de observação dependerá, entre outros fatores, do próprio tipo do terreno e de seu grau de erosão.

A direção de varredura, o ângulo de elevação e o azimute solares, para o sistema LANDSAT, e o ângulo de incidência e a direção de iluminação, no radar, são parâmetros muito importantes para a extração de informações geológicas, principalmente nos casos em que as feições geológicas são mais bem caracterizadas por sua expressão topográfica. Isto se deve ao fato de que os baixos ângulos de iluminação tendem a realçar os elementos topográficos pouco expressivos por meio do realce por sombreamento. Por outro lado, no caso de áreas com relevo acentuado, uma iluminação com baixo ângulo pode promover excessivo sombreamento, ocultando alguns detalhes.

A órbita fixa do LANDSAT faz com que ele passe sobre o mesmo ponto da Terra em períodos constantes aproximadamente no mesmo horário. Assim, embora o horário local não varie entre inúmeras passagens, ângulos de elevação solar diversos fornecerão iluminação variável, conforme a época do ano. Essas mudanças são devidas à movimentação sazonal da Terra durante o ano.

O azimute solar também varia com o tempo e a latitude. Diferentes direções de iluminação solar provocam diferentes condições de imageamento das feições da superfície terrestre. Esses parâmetros podem influir na análise e interpretação dos aspectos do relevo, em especial dos lineamentos com expressão topográfica. Cabe destacar ainda que os lineamentos com direções próximas à do azimute solar são menos destacados no sistema LANDSAT, devido ao menor realce por sombreamento. Deste modo, a observação de imagens obtidas sob azimutes de iluminação diferentes é recomendada para minimizar esta deficiência. Cuidados adicionais devem ser tomados em relação às feições lineares com direção semelhante à da varredura do LANDSAT (N81W), uma vez que podem ser mascaradas pelas linhas de ruído que normalmente surgem durante o imageamento.

Conforme foi dito anteriormente, o sistema de radar próprio vê sua própria iluminação, paralelamente à direção de varredura. Ocorre o sombreamento quando o declive posterior das encostas for mais abrupto que o ângulo de depressão do radar. O SLAR apresenta contínua varia

ção no ângulo de incidência ao longo uma linha de varredura sendo maior na posição proximal e diminuindo progressivamente em direção à posição distal (Figura 3.1). Este sistema imageia o terreno em ângulos de incidência (ou depressão) relativamente baixos e fornece um sombreamento com características análogas às do LANDSAT. Contudo, pela variação do ângulo de depressão, inerente ao sistema, esse sombreamento tende a ser mais acentuado na porção distal que na proximal da imagem (Figura 3.2). Desta forma, um terreno homogeneamente entalhado exhibe sombreamento mais intenso na porção distal da faixa imageada, dando a falsa idéia de maiores desníveis topográficos. É de particular importância para o geólogo o conhecimento das feições paralelas à linha de voo serem melhor definidas pelo SLAR que as paralelas às linhas de varredura, posto que aquelas são mais bem realçadas pelo sombreamento. Na área deste estudo, a cobertura do SLAR foi feita com direção N-S de iluminação, de forma que os lineamentos com essa direção são melhor observados nas imagens LANDSAT que nas dos mosaicos de radar.

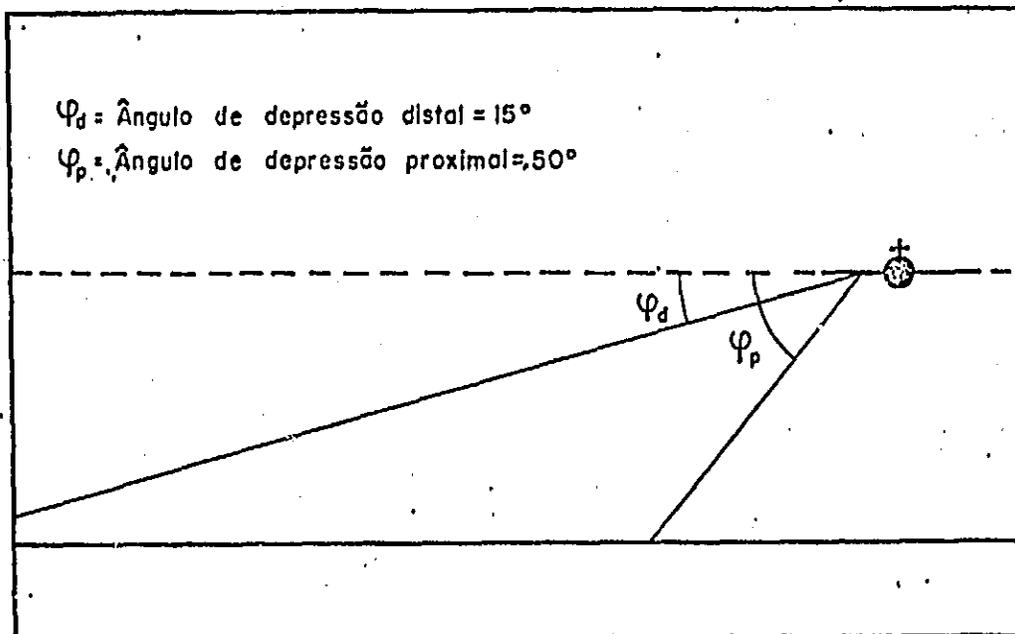


Fig. 3.1 - Geometria da iluminação no sistema SLAR.

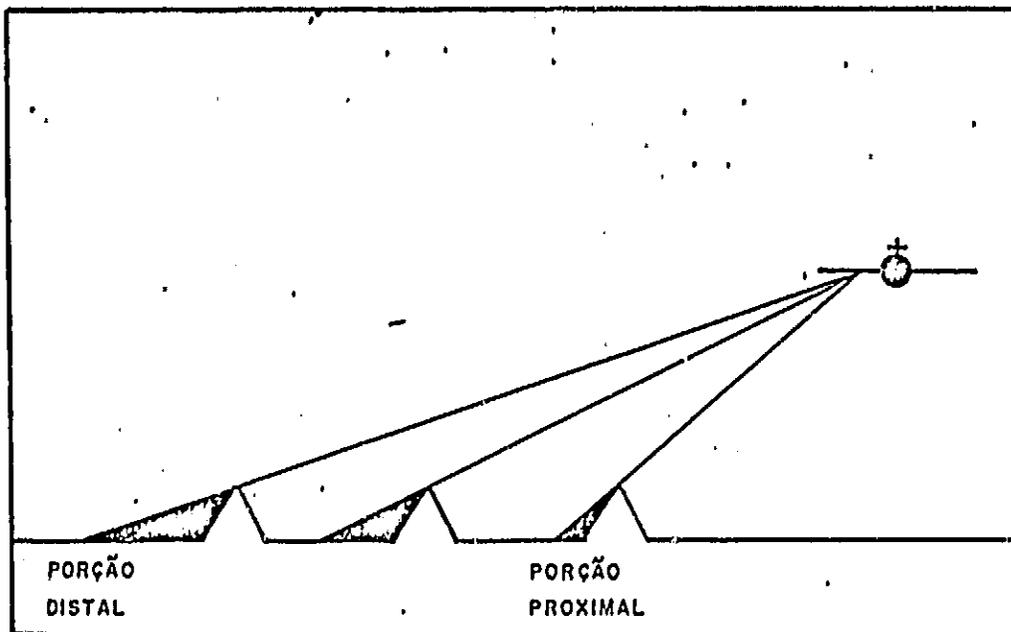


Fig. 3.2 - Formação de sombras no sistema SLAR.

Por fim, a resolução espacial das imagens também exerce um papel importante na detecção das feições lineares. O termo *resolução espacial*, utilizado em Sensoriamento Remoto, é definido como a capacidade de distinguir, numa foto ou imagem, objetos pouco distanciados (Sabins, 1978) ou, em outras palavras, a resolução espacial de um sistema é o mínimo espaçamento com que duas barras paralelas podem ser distinguidas na foto ou imagem (Colvocoresses, 1972). A resolução espacial do LANDSAT é pequena, uma vez que seu campo-de-visada instantânea (elemento de imagem ou "pixel") é de 79 x 79 m no terreno. Por outro lado, a resolução espacial do radar é de apenas 25 m no terreno. Assim é esperado que alguns detalhes observados nas imagens SLAR não possam ser definidos nas imagens LANDSAT.

#### 4. INTERPRETAÇÃO DAS IMAGENS

Para o estudo das imagens LANDSAT e SLAR foi adotado um procedimento operacional baseado essencialmente nas técnicas de fotointerpretação visual. O processo usado há longo tempo na interpretação de fotos aéreas é igualmente aplicável às imagens LANDSAT ou SLAR e desenvolve-se em duas etapas. A primeira trata da identificação das feições

nas imagens, acompanhada pelo reconhecimento dos elementos destas. A segunda etapa envolve processos dedutivos e indutivos de combinação dos elementos em termos de seu significado geológico. Esta etapa é essencial e, através dela, estabelece-se o contexto geológico da área estudada.

Os aspectos relevantes em Sensoriamento Remoto incluem:

a) aspectos espectrais, os quais servem para enfatizar contrastes na reflectância, ou seja, para avaliar as variações dos níveis de cinza de uma imagem, podendo levar à diferenciação dos materiais da superfície; b) aspectos espaciais, que informam sobre as características geomórficas, os padrões e as texturas dos terrenos e são aplicáveis à identificação de lineamentos naturais; c) aspectos temporais, que refletem as mudanças sazonais do clima e da iluminação (incluindo as variações do ângulo de iluminação e azimute solares) e, conseqüentemente, permitem diferentes visões do terreno, auxiliando tanto a diferenciação da litologia quanto dos lineamentos. Tendo em vista que as estruturas geológicas revelam-se principalmente através das características geomórficas dos padrões e das texturas dos terrenos, dois aspectos devem ser considerados na análise de imagens LANDSAT. Primeiro, que a análise das características multiespectrais pouca contribuição trará ao estudo de lineamentos, porque os contrastes tonais podem ocultar ou, ao menos, inibir a expressão da topografia. Segundo, que o realce por sombreado é o fator mais importante na fotointerpretação de lineamentos. Uma elevação solar e um azimute de iluminação adequados tenderão a realçar as formas do relevo, melhorando a visualização dos lineamentos naturais.

Na área tratada neste trabalho, a iluminação solar atinge o alvo em ângulos de  $35^{\circ}$  e  $55^{\circ}$  em julho e dezembro, respectivamente. Por outro lado, para obter o melhor realce da topografia, em regiões de relevo moderado, a elevação solar ótima situa-se em torno dos  $25^{\circ}$ , por tanto inferior ao mínimo possível encontrada na área estudada.

Outro problema a ser considerado é a cobertura de nuvens que pode ocorrer nas imagens LANDSAT. No sul da Bahia, infelizmente, as

inúmeras imagens obtidas desde 1972 mostram quase sempre altas porcentagens de nuvens, o que dificulta a tarefa de obter uma imagem que tenha simultaneamente boa qualidade radiométrica, pequena cobertura de nuvens e ângulo de elevação solar suficientemente baixo.

Procurando cumprir esses requisitos, foi selecionada uma imagem da época do inverno que apresenta azimute e ângulo de elevação solar de  $49^{\circ}$  e  $39^{\circ}$ , respectivamente. Assim, os lineamentos entre NS e N15°E ficam bem realçados, ao contrário do que ocorre no SLAR, onde esses lineamentos são menos conspícuos em virtude da direção de iluminação NS do sistema.

Alguns tipos de tendência a erros devem ser considerados quando se trata de interpretação visual de imagens. Os erros pessoais são minimizados quando as imagens são interpretadas duas vezes, em épocas diferentes, e a extração dos lineamentos nas imagens LANDSAT e SLAR, conduzida de forma independente, com posterior correlação e compensação entre os dados de cada uma dessas fontes, compondo um mapa único. A geometria do imageamento também influi no resultado do processo de identificação de feições lineares naturais. O LANDSAT tem direções de varredura e de iluminação diferentes, havendo portanto duas tendências direcionais de erro. Já no SLAR, essas duas direções são iguais, havendo portanto só uma tendência direcional ao erro. Esses erros podem ser minimizados por meio de extração e exame cuidadosos das informações e por cautelosa correlação entre os dados obtidos a partir de cada uma dessas fontes.

## 5. CLASSIFICAÇÃO DOS LINEAMENTOS

Numerosos trabalhos têm focalizado a classificação de lineamentos e dado sugestões no sentido de que estas classificações sejam baseadas em critérios tais como a suposta origem, o tipo de expressão no terreno ou o tamanho dos lineamentos. A classificação com base na suposta origem dessas feições lineares é extremamente difícil e restritiva quando se trabalha em áreas pobremente conhecidas e compostas por ro

chas cristalínas forte e complexamente deformadas. Alguns autores agrupam os lineamentos com base na sua expressão geomórfica. Esta classificação é complexa, incompleta e pouco prática, uma vez que uma feição linear pode ser expressa por uma variada gama de formas topográficas (escarpas, cristais, vales, etc.) e porque um mesmo tipo de feição geomórfica pode ser gerado por fenômenos geológicos tão distintos quanto, por exemplo, uma falha e uma erosão diferencial. A classificação baseada no comprimento dos lineamentos é amplamente difundida na literatura, mas igualmente deficiente. Ao contrário das feições lineares mais conspícuas, a definição do comprimento dos lineamentos mais sutis pode ser um tanto diferente para diferentes fotointérpretes. Além disso, conforme a escala e as condições do terreno, um lineamento pode se mostrar contínuo ou segmentado. Assim, uma opinião mais prática e fácil e menos restritiva é adotar uma classificação baseada na direção dos lineamentos, uma vez que, embora o detalhamento possa variar com a maior ou menor experiência do fotointérprete, todos eles observam certamente os mesmos "trends" de lineamentos, localizados ou de âmbito regional. Neste trabalho é adotada a classificação baseada principalmente neste critério, ou seja, na expressão topográfica e no relacionamento espacial entre os lineamentos.

A Figura 5.1 mostra os lineamentos extraídos dos canais 6 e 7 do MSS-LANDSAT, enquanto a Figura 5.2 mostra os lineamentos extraídos do mosaico de radar.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

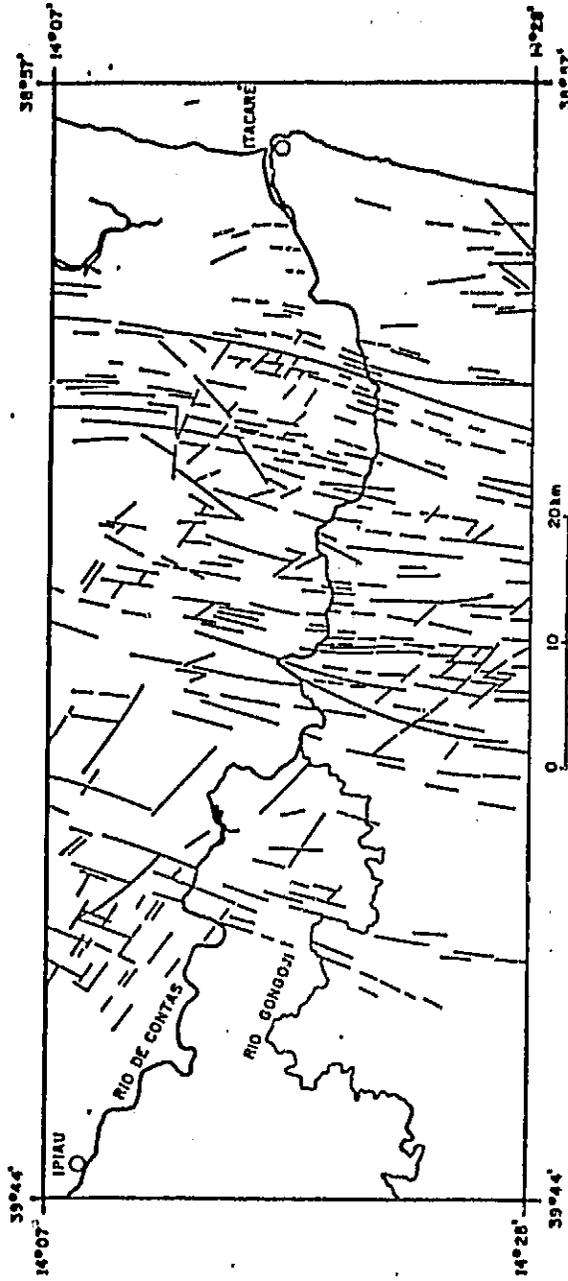


Fig. 5.1 - Mapa dos lineamentos extraídos das imagens MSS-LANDSAT.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

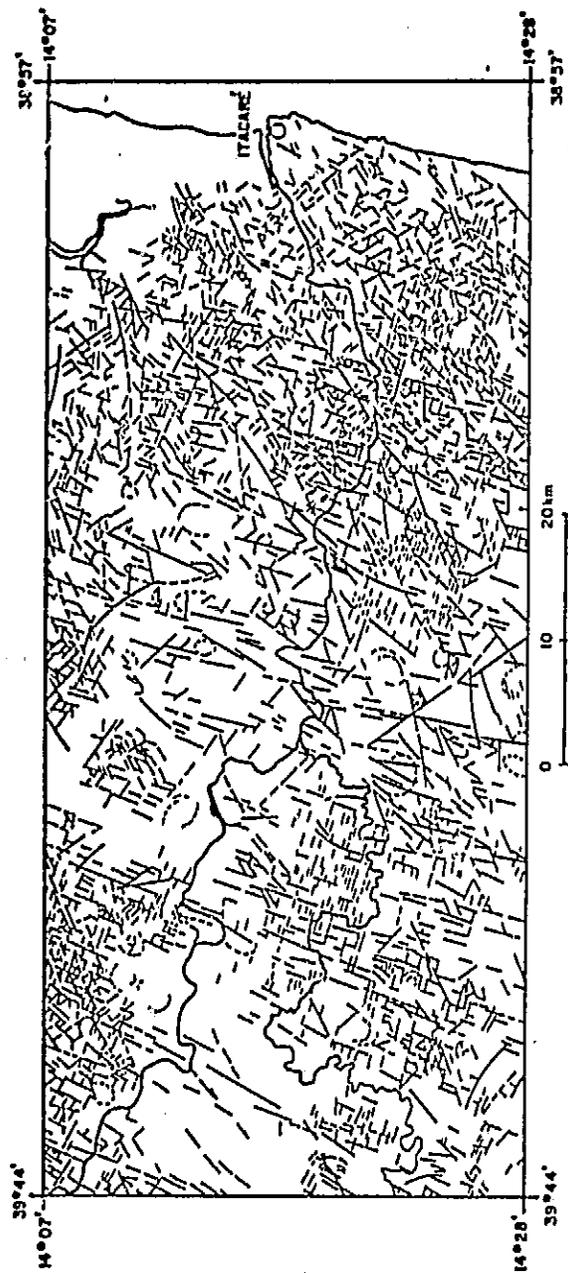


Fig. 5.2 - Mapa dos lineamentos extraídos do mosaico de radar.

As Figuras 5.3 e 5.4 mostram os lineamentos dos sistemas com direções  $N70^{\circ}W$  e  $N65^{\circ}E$ , respectivamente, que foram transferidos da Figura 5.2 para essas e haviam sido extraídos exclusivamente das imagens de radar. Estes dois sistemas têm suas características próprias, tais como o fato de representarem feições lineares estreitas, curtas e pouco marcantes, as quais são sempre cortadas pelos outros sistemas de lineamentos mais possantes.

As Figuras 5.5 e 5.6 mostram os lineamentos dos sistemas  $N45^{\circ}W$  e  $N40^{\circ}E$ , respectivamente, e foram obtidas a partir das Figuras 5.1 e 5.2. Estes sistemas são constituídos por lineamentos largos, longos e conspícuos, que interceptam os lineamentos dos sistemas  $N70^{\circ}W$  e  $N65^{\circ}E$ , mas são cortados pelos elementos do sistema  $NS/N15^{\circ}E$ .

A Figura 5.7 apresenta o sistema de lineamentos  $NS/N15^{\circ}E$  e também foi obtida a partir das Figuras 5.1 e 5.2. Estes lineamentos são os maiores e mais nítidos de toda a área e seccionam os demais sistemas.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

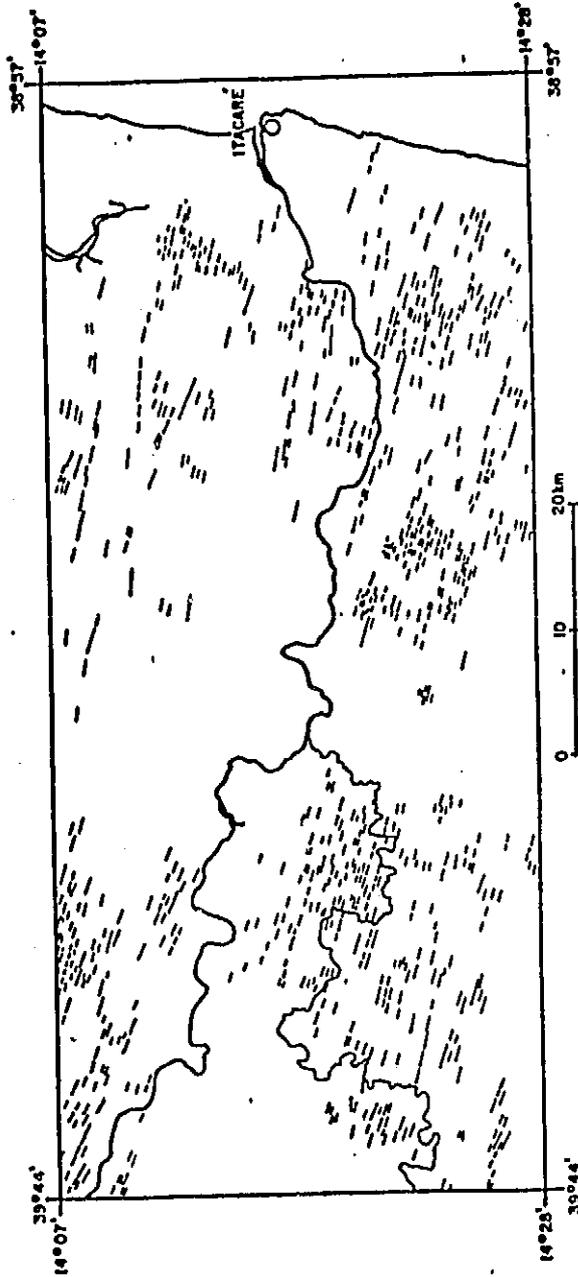


Fig. 5.3 - Mapa do sistema de lineamentos com "trend" N70°W.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

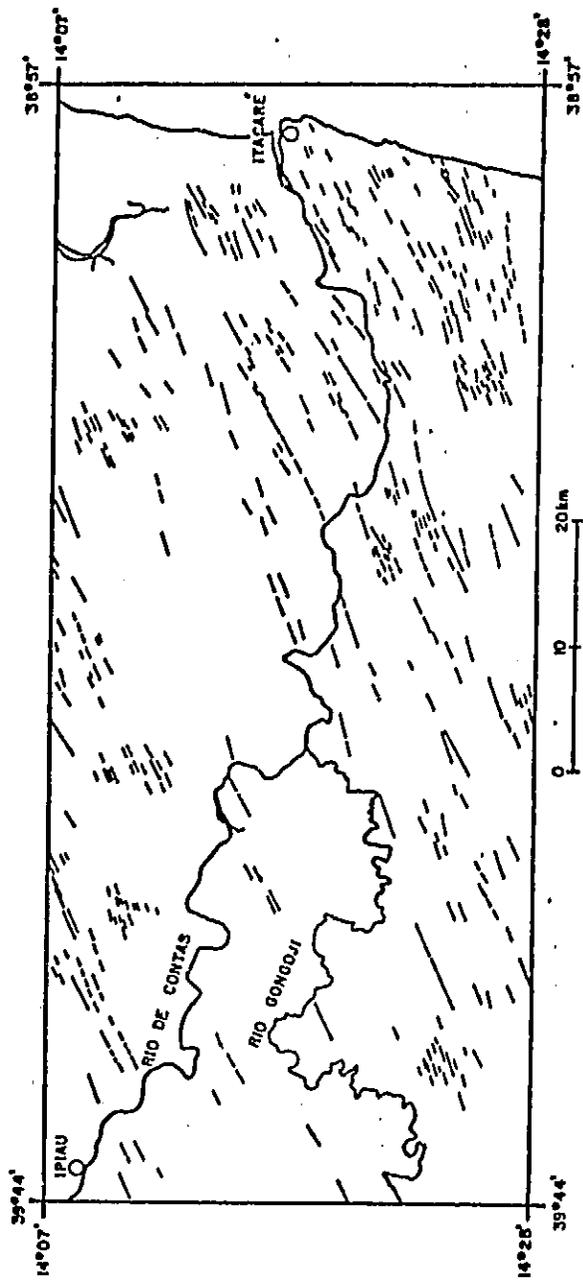


Fig. 5.4 - Mapa do sistema de lineamentos com "trend" N65° E.

ORIGINAL PAGE IS  
OF POOR QUALITY

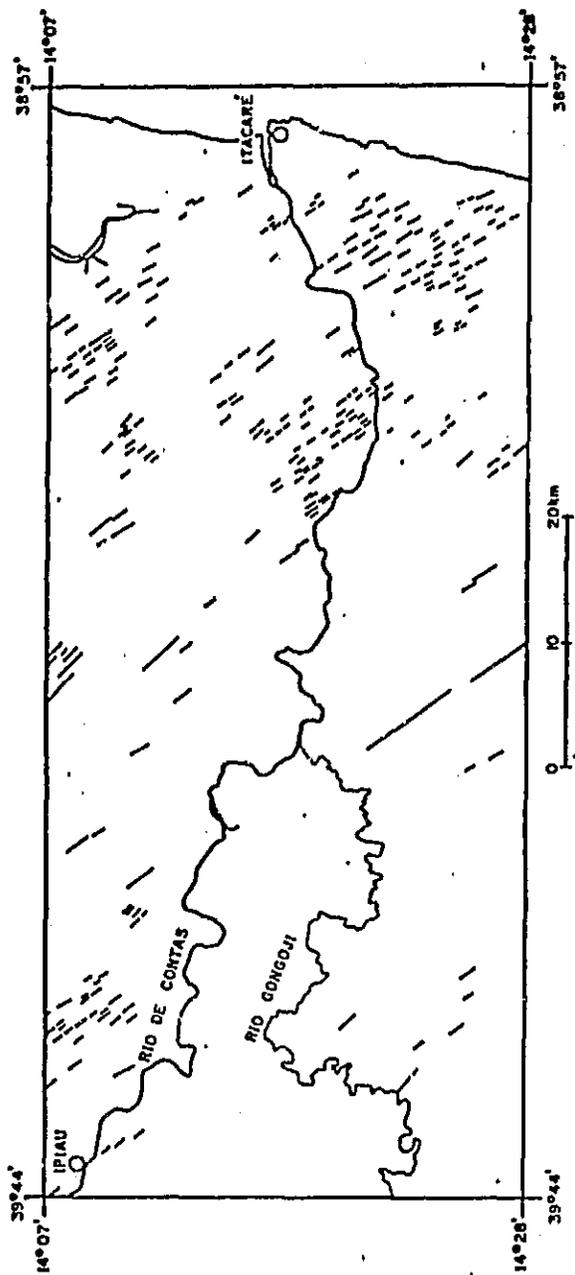


Fig. 5.5 - Mapa do sistema de lineamentos com "trend" N45°W.

ORIGINAL ...  
OF POOR ...

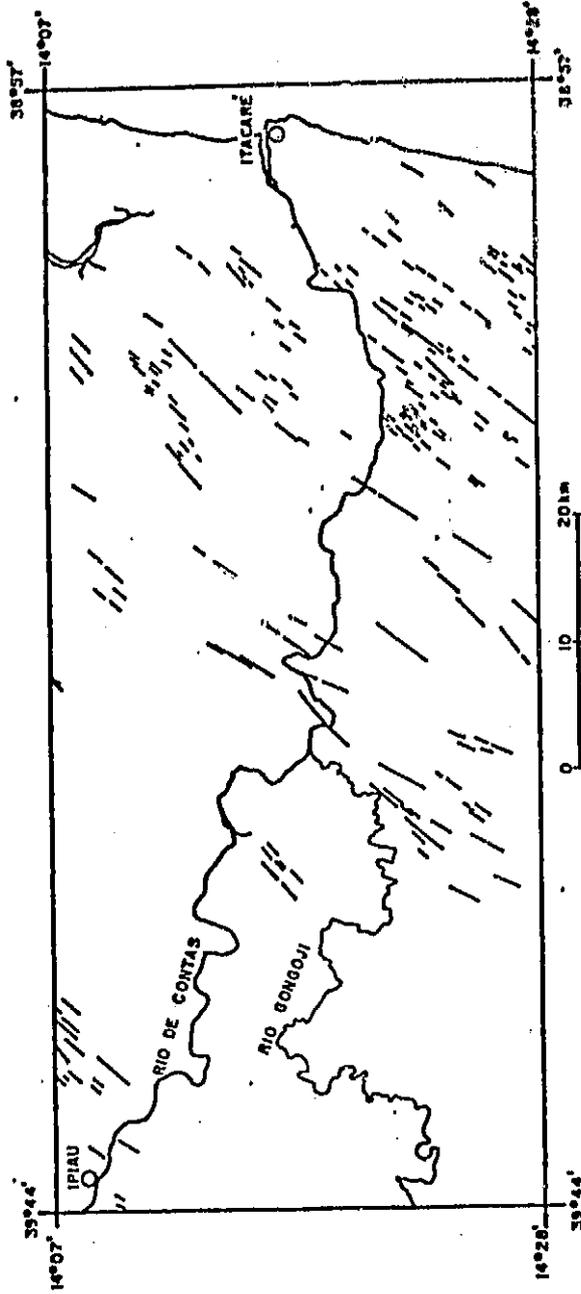


Fig. 5.6 - Mapa do sistema de lineamentos com "trend" N40° E.

ORIGINAL FIGURE  
OF POOR QUALITY

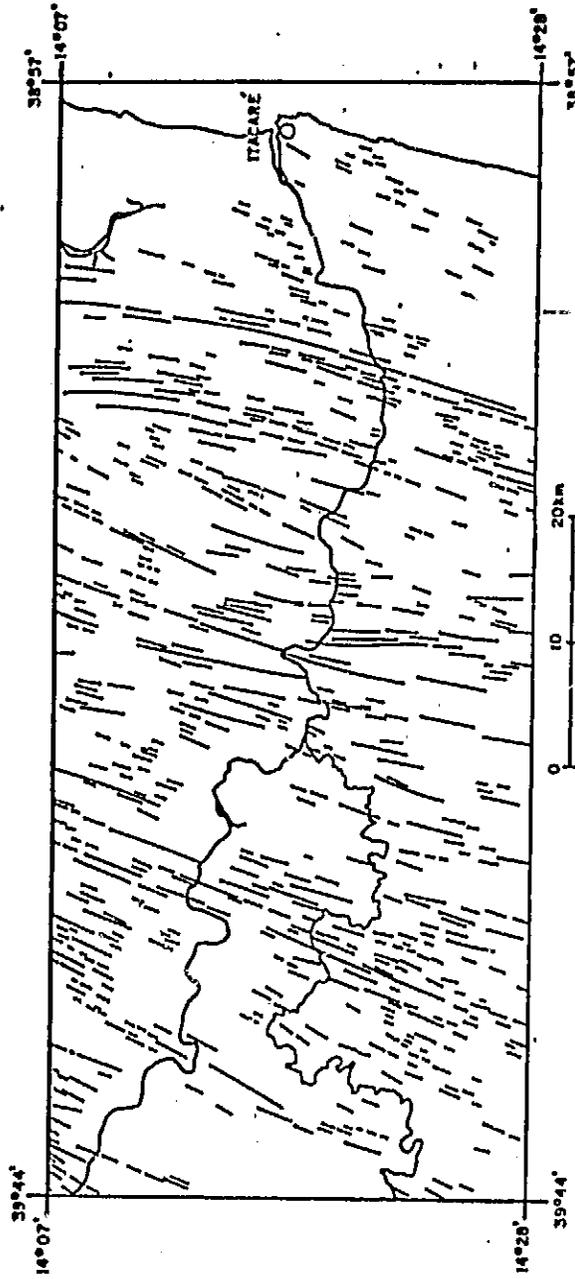


Fig. 5.7 - Mapa do sistema de lineamentos com "trend" NS/N15°E.

## 6. INFERÊNCIA TECTÔNICA E ESTRUTURAL DOS LINEAMENTOS

Muitos pesquisadores têm estudado a magnitude dos ângulos conjugados de cisalhamento em relação aos movimentos tectônicos que os geraram. De acordo com a relação dos esforços, estabelecida por Mohr, o ângulo entre os planos de cisalhamento é um pouco menor que  $90^{\circ}$  e sua bissetriz é o eixo do máximo esforço compressivo. Segundo Billings (1954), quando uma rocha é submetida a uma compressão progressivamente crescente, ocorrerá um par conjugado de fraturas de cisalhamento, com o ângulo de conjugação sempre menor que  $90^{\circ}$  (em geral da ordem de  $60^{\circ}$ ), cuja bissetriz é a força compressiva. Hills (1963) também afirmou que se uma substância for submetida à compressão, formar-se-ão duas fraturas complementares de cisalhamento sob um ângulo inferior aos  $90^{\circ}$ , cuja bissetriz é o eixo de compressão. Com relação aos ângulos de conjugação menores, Badgley (1965) citou: "Muitos pares de fraturas com pequeno ângulo de conjugação têm sido observados no campo. Alguns geólogos tendem a interpretar tais padrões como resultado de compressão horizontal, considerando que atualmente tais padrões são produzidos, provavelmente, por movimentação vertical de blocos. Nesse caso, a bissetriz do pequeno ângulo de conjugação é paralela ao eixo de um sistema de "horsts" ou de um dobramento". Handin e Hunger (Badgley, 1965) efetuaram experimentos sobre as modificações no valor do ângulo de conjugação relacionadas a mudanças na pressão confinante, na temperatura e na própria força de compressão. Desses experimentos ficou claro que: (a) quando a temperatura é constante e a pressão confinante e a compressão aumentam, o ângulo de conjugação aumenta de  $28^{\circ}$  até  $60^{\circ}$ ; (b) o mesmo ocorre quando a pressão confinante e a compressão permanecem constantes e a temperatura aumenta; (c) o ângulo de conjugação aumenta progressiva de  $28^{\circ}$  até  $64^{\circ}$  quando a temperatura, a pressão confinante e a força de compressão aumentam.

Com base nos princípios expostos neste trabalho, podem-se considerar os lineamentos dos sistemas  $N70^{\circ}W$  e  $N65^{\circ}E$  como um par conjugado de fraturas de cisalhamento. Esses lineamentos distribuem-se mais ou menos homogêaneamente por toda a área estudada (Figuras 5.3 e 5.4, res

pectivamente) e exibem comprimentos entre 1 e 2,5 km. Eles podem ser considerados como os lineamentos mais antigos da área e talvez representem as direções estruturais herdadas dos eventos tectônicos mais velhos. O ângulo de conjugação deste par é de  $45^\circ$ , com bissetriz em direção E-W (Figura 6.1a). Com relação ao valor deste ângulo, duas considerações podem ser feitas. Primeira, que este par de lineamentos tenha sido causado por movimentos verticais. Os sistemas de falhas e dobras paralelas ao eixo da compressão (E-W) teriam sido mascarados pela evolução posterior do tectonismo e, em virtude do alto grau de metamorfismo e recristalização, as fraturas de cisalhamento teriam sido transformadas em foliação (xistosidade ou bandamento). Contudo, é difícil explicar o desaparecimento das grandes estruturas, tais como as dobras ou os "horts" e suas falhas limitantes, diante da sobrevivência do cisalhamento menor e subordinado. A segunda consideração é que os lineamentos  $N70^\circ W$  e  $N65^\circ E$  tenham sido causados por uma compressão E-W, sob condições de pressão confinante e temperatura baixas. Esta parece a alternativa mais lógica e mais provável.

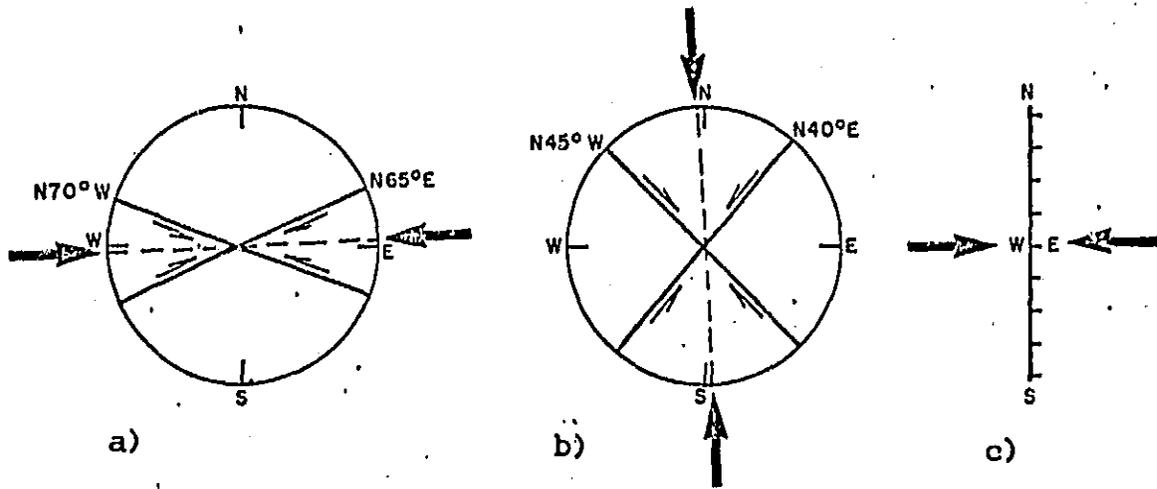


Fig. 6.1 - Representação esquemática dos sistemas de lineamentos.

Os lineamentos  $N45^{\circ}W$  e  $N40^{\circ}E$  podem também ser considerados como um par de fraturas conjugadas de cisalhamento. Eles têm comprimento médio da ordem de 4 km e concentram-se na porção mais próxima ao litoral (Figuras 5.5 e 5.6), sendo menos frequentes no interior. Como já foi citado anteriormente, estes lineamentos são mais jovens que os sistemas  $N70^{\circ}W$  e  $N65^{\circ}E$ . Seu ângulo de conjugação é de  $85^{\circ}$ , com bissetriz em direção N-S (Figura 6.1b). É lícito pensar que estes lineamentos foram gerados por uma forte compressão de direção aproximada NS. Devido à sua distribuição heterogênea, eles devem ter sido formados por atividade mais ou menos localizada, numa determinada fase do tectonismo regional.

Os lineamentos do sistema NS/ $N15^{\circ}E$  são bastante nítidos nas imagens LANDSAT, aparecendo sob a forma de vales e encostas muito incisos, retilíneos ou suavemente encurvados, com comprimento médio maior que 200 km e distribuição homogênea por toda a área. Podem ser interpretados como as estruturas mais jovens entre todos os lineamentos detectados nas imagens. Representam, provavelmente, uma série de falhas de empurrão de extensão regional, causadas por uma força compressiva muito forte que teria agido de leste para oeste (Figura 6.1c)

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BADGLEY, P.C. *Structural and tectonic principles*. New York, Harper and Row, 1965. 521p.
- BILLINGS, M.P. *Structural geology*. 2. ed. New Jersey, Prentice-Hall, 1954. 524p.
- COLVOCORESSES, A.P. Image resolution for ERTS, Skylab and Gemini/Apollo *Photogrametric Engineering*. 38 (1):33-35, 1972.
- HILLS, E.S. *Elements of structural geology*. New York, John Wiley, 1963 483p.
- LEE, K.; KNEPPER, D.H.; SAWATZKY, D.L. Geologic information from satellite images. In: Shahrokhi, F. ed. *Remote sensing of Earth resources*. Tullahoma, TN. Space Institute of the Univ. of Tennessee, 1974. V.3, p. 411-447.
- O'LEARY, D.W.; FRIEDMAN, J.D.; POHN, H.A. Lineament linear lineation: some proposed new standards for old terms. *Bulletin of the Geological Society of America*. 87: 1463-1469, 1976.
- SABINS, JR. F.F. *Remote sensing, principles and interpretation*. San Francisco, CA., W. H. Freeman, 1978, 426p.