

O PADRÃO DE FRATURAMENTO E O CONDICIONAMENTO TECTÔNICO  
NA REGIÃO DO QUADRILÁTERO FERRÍFERO E PARTE DO COMPLEXO  
MIGMATITO-GRANULÍTICO DE MINAS GERAIS (BRASIL)

Athos Ribeiro dos Santos  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq  
12200 - São José dos Campos, SP, Brasil

Hans D. Schorscher  
Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências - IG/USP  
C.P. 20899 - 01498 - São Paulo, SP, Brasil

RESUMO

O trabalho consta do estudo geológico-estrutural desenvolvido no SE do Estado de Minas Gerais, que engloba as rochas do Quadrilátero Ferrífero e partes do Complexo Migmatito-granulítico de Minas Gerais. A área de evolução policíclica complexa é composta por rochas pré-cambrianas metamórficas com idade arqueanas a proterozóicas superiores. Nos tempos fanerozóicos ocorreu um magmatismo basáltico associado a um tectonismo, principalmente na Era Mesozóica, e desenvolveram-se restritas bacias sedimentares lacustres nos períodos terciário e quaternário. Este estudo baseia-se na interpretação de produtos de sensores remotos (MSS, RBV, TM e SLAR) e em dados geológicos obtidos da literatura e de trabalhos de campo. Um mapa geológico integrado (1:250.000) e uma análise estatística dos padrões de fraturamento mostram a importância das direções da tectônica rúptil e rúptil-dúctil NNE-SSW e E-W no Arqueano e no condicionamento das gerações de fraturas mais jovens. Evidências suplementares com relação à evolução estrutural do Supergrupo Minas no Quadrilátero Ferrífero revelaram diferentes padrões de fraturas na cobertura Minas em relação ao seu embasamento.

ABSTRACT

This work describes the structural evolution of the SE - portion of Minas Gerais State, including the Quadrilátero Ferrífero and adjacent parts of the Migmatitic-Granulitic Complex. The area of complex polycyclic evolution is composed of pre-Cambrian metamorphic rocks, archean to upper proterozoic in age. In phanerozoic times basaltic magmatism and related tectonism took place principally in the Mesozoic Era, and restricted lacustrine sedimentary basins developed in the tertiary and quaternary periods. This study is based on the interpretation of remote sensing products (MSS, RBV, TM and SLAR images) and geological data from literature and field work. An integrated geological map (1:250.000) and a statistical analysis of the patterns of fracturing show the importance of NNE-SSW and E-W directed events of rüptil and rüptil-ductil tectonics in the Archean and in the conditioning of the younger fracture-generations. Further evidences regarding the structural evolution of the Minas Supergroup in the Quadrilátero Ferrífero

revealed different fracture patterns in the Minas - cover in respect to its underlying basement.

## 1. INTRODUÇÃO

A área em estudo situa-se na região sudeste do Estado de Minas Gerais (Figura 1), delimitada pelos paralelos  $20^{\circ}00'$  -  $21^{\circ}00'$  de latitude Sul e  $42^{\circ}00'$  -  $44^{\circ}30'$  de longitude oeste, englobando as rochas do Quadrilátero Ferrífero e parte do Complexo Migmatito-Granulítico de Minas Gerais. A área é constituída por rochas pré-cambrianas metamórficas com idades que variam desde arqueana a proterozóicas superiores (Tabela 1), sendo as rochas fanerozóicas restritas aos basaltos mesozóicos e aos depósitos lacústricos e produtos de intemperismo terciários a recentes.

A maior parte da área é representada pelo Complexo Migmatito-Granulítico de Minas Gerais (Inda et alii, 1984), que é constituído, a oeste, por gnaisses e migmatitos diversos, granitóides e intrusivas principalmente básicas e, a leste, por migmatitos complexos, granulitos e granitóides (Figura 2).

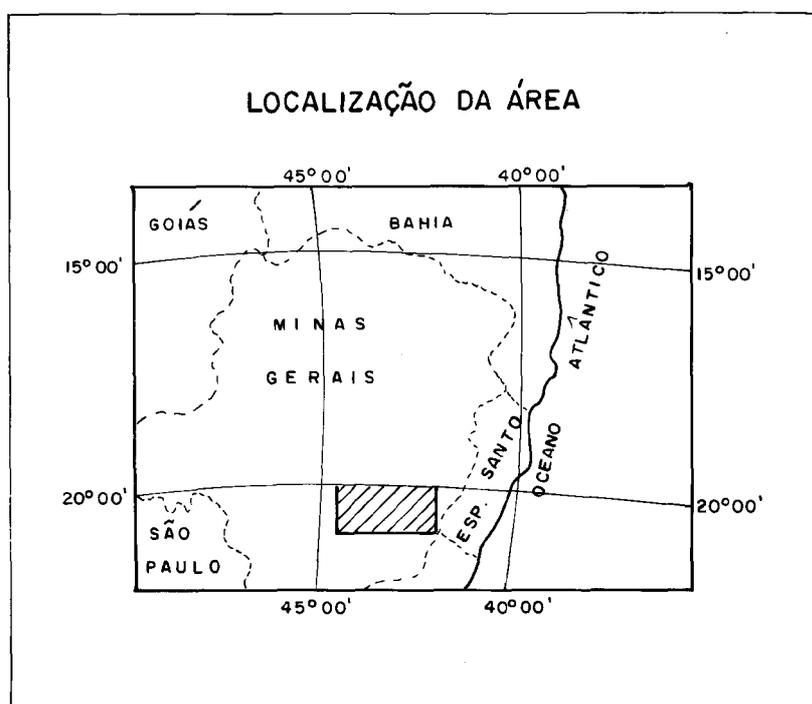


Fig. 1 - Localização da área.

O Supergrupo Rio das Velhas (Dorr II et alii, 1957; Dorr II, 1969; Schorscher, 1979, 1980; Schorscher et alii, 1982) no Quadrilátero Ferrífero constitui uma sequência vulcano-sedimentar arqueana de ambiente geológico "granite-greestone". O Grupo Quebra Osso representa a sequência inferior do "greenstone belt", constituído essencialmente de efusivas ultramáficas e contém subordinadamente sedimentos químicos metamorfizados. O Grupo Nova Lima representa a sequência vulcano-clástica intermediária e o Grupo Maquiné, a sequência clástica superior.

O Supergrupo Minas (Dorr II et alii, 1957; Dorr II, 1969; Inda et alii, 1984) e o Supergrupo Espinhaço (indiviso) de ocorrência restrita na área, constituem as sequências metassedimentares proterozóicas formadas principalmente por quartzitos, filitos, itabiritos, conglomerados, dolomitos, xistos, etc.

O trabalho, em escala regional (1:250.000), utiliza produtos de sensores remotos e trabalhos de campo com o intuito de integrar e homogeneizar os dados existentes sobre esta área de evolução policíclica complexa, devido à superimposição de orogêneses pré-cambrianas, além de eventos tectônicos e magmáticos fanerozóicos. A integração é ainda dificultada pela falta de uma cobertura sistemática de mapeamentos geológicos, ficando restrita, praticamente, aos trabalhos mais detalhados desenvolvidos sobre o Quadrilátero Ferrífero.

TABELA 1

IDADE INFERIDA DAS GRANDES UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS

SUPERGRUPO	IDADE INFERIDA (com base em bibliografia)
Minas e Espinhaço	Proterozóico inferior a médio; em partes contemporâneos *
Rio das Velhas	Cinturão das rochas verdes arqueano *
Complexo migmatito granulítico de Minas Gerais	Arqueano, retrabalhado nos ciclos Transamazônico e Brasiliano *

\* Inda et alii (1984)

O objetivo principal deste trabalho é estudar os eventos da tectônica rúptil e rúptil-dúctil que afetaram e condicionaram a evolução da área, utilizando produtos de sensores remotos de pequena escala para a integração dos dados geológicos e para a análise estatística de fraturas.

2. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do trabalho, utilizaram basicamente os seguintes produtos, na escala 1:250.000:

- imagens MSS, canais 5 e 7;
- Imagens RBV;
- imagens TM (parcialmente), canais 4 e 5;
- mosaicos SLAR do Projeto RADAMBRASIL.

A fotointerpretação baseou-se nos critérios estabelecidos por Soares e Fiori (1976) e adaptados para imagens de Satélite por Veneziani e Anjos (1982), os quais fundamentam-se na análise das propriedades texturais de relevo e de drenagem, seguindo passos lógicos e sistemáticos até

que se possa atribuir um significado geológico aos conjuntos de feições observadas. A utilização de duas ou mais passagens de uma mesma cena dos produtos LANDSAT permitem, através do uso do estereoscópio, uma melhor acurácia na interpretação.

Desta forma, obteve-se para a área de estudo os seguintes produtos:

- 1) mapa geológico integrado (1:250.000)(1);
- 2) mapa de fraturas fotointerpretadas (1:250.000)(1).

Tendo como base as informações obtidas através do mapa geológico integrado com as informações bibliográficas, homogeneizadas e completadas por trabalhos de campo, buscou-se o tratamento estatístico do Mapa de Fraturas Fotointerpretadas, com o intuito de obter informações acerca dos eventos rupturais que afetaram a região e resultaram no seu atual arcabouço geológico-estrutural.

A análise estatística apresentada neste trabalho, baseia-se nos estudos desenvolvidos por Aliyev (1980). A premissa é de que uma fratura é uma zona de fraqueza e, portanto, uma zona potencial no condicionamento da distribuição dos eventos rupturais posteriores que afetaram a região. Em outras palavras, espera-se que haja uma maior concentração de fraturas de uma dado evento ao longo de uma quebra pré-existente. Desta forma, a análise estatística das direções individuais de fraturamento permite obter informações a respeito das principais zonas de fraqueza que condicionaram o desenvolvimento dos eventos da tectônica rígida que afetaram a área, assim como fazer uma cronologia relativa aos eventos.

Através do mapa de fraturamento da região, foram estabelecidas 5 direções principais de rupturas desenvolvidas durante os diversos eventos que afetaram a área:

- N15°E ± 15°,
- N50°E ± 20°,
- E-W ± 20°,
- N15°W ± 15°,
- N50°W ± 20°.

Cada uma destas direções de fraturamento foi tratada estatisticamente através da contagem ponderada das fraturas fotointerpretadas por unidade de área, resultando em 5 mapas de frequência de fraturas, com a possibilidade de analisar a distribuição e as direções condicionantes de cada um destes eventos, como exemplificado na Figura 3.

### 3. RESULTADOS

Os resultados obtidos com relação à análise estatística serão apresentados direção a direção e, a seguir integrados.

(1)

Não reproduzido neste trabalho na escala original.

A direção  $N15^{\circ}E \pm 15^{\circ}$  (Figura 3) é, em termos quantitativos, a mais frequente na área, apresentando um aumento de intensidade de oeste para leste. Analisando os máximos de concentração de fraturas observa-se que esta direção é controlada apenas por ela mesma e pela direção  $E-W \pm 20^{\circ}$ , ou seja, estes máximos distribuem-se preferencialmente ao longo destas direções. A influência das direções  $N50^{\circ}E \pm 20^{\circ}$  e  $N50^{\circ}W \pm 20^{\circ}$  restringe-se à região do Quadrilátero Ferrífero, na parte oeste da área. A explicação para este padrão anômalo é dada pelos metassedimentos Minas, reforçando sua origem alóctone (Schorscher 1975, 1976; Schorscher e Guimarães 1976). Esta interpretação é confirmada quando se analisa o fraturamento dos metassedimentos Minas separadamente.

As direções descritas a seguir têm frequências menores do que a anterior, porém comparáveis entre si.

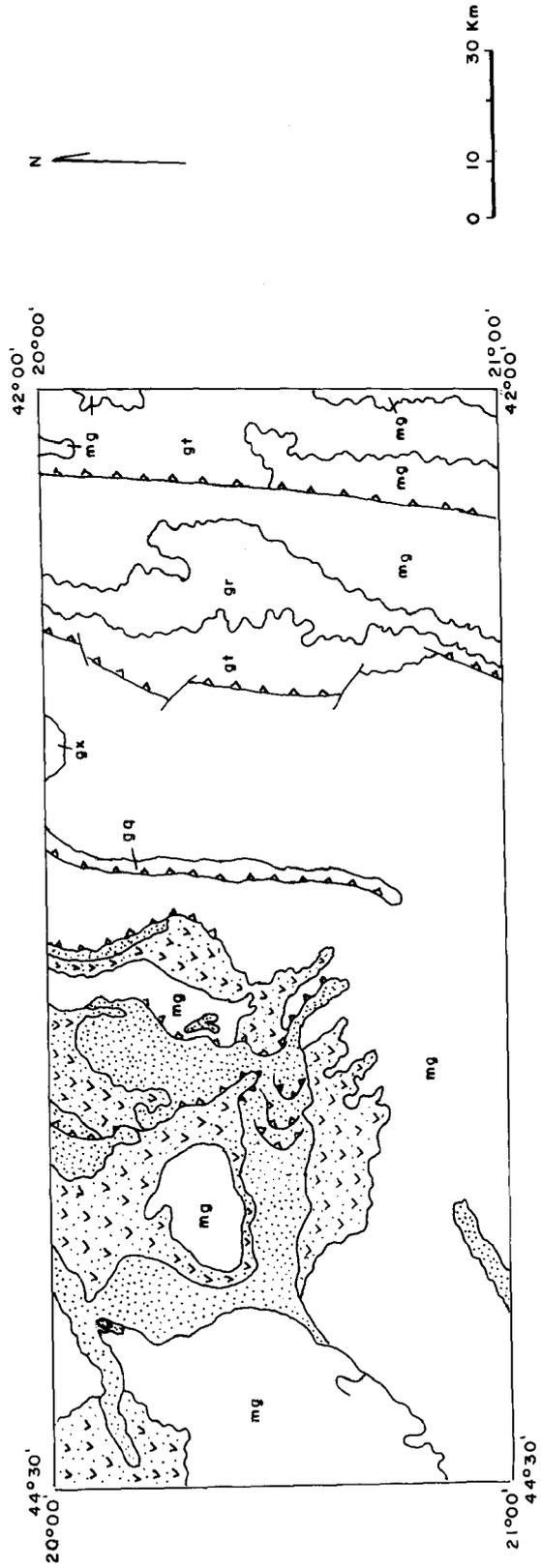
A  $E-W \pm 20^{\circ}$  tem distribuição irregular na área com frequência um pouco maior na parte leste do que na oeste. A distribuição das fraturas mostra-se controlada, em toda a área, pela direção  $N15^{\circ}E \pm 15^{\circ}$  e por ela mesma. Apenas em um região, no extremo sudoeste da área, é controlada pelas fraturas  $N50^{\circ}W \pm 20^{\circ}$ .

As direções  $N50^{\circ}E \pm 20^{\circ}$  e  $N50^{\circ}W \pm 20^{\circ}$  mostram-se condicionados por todas as direções, menos pela  $N15^{\circ}W \pm 15^{\circ}$ . Estas diferem em suas distribuições regionais; a primeira mostra maior frequência na parte leste e a segunda, na parte oeste da área.

A direção  $N15^{\circ}W \pm 15^{\circ}$  é também de média intensidade de ocorrência, com maior frequência na parte oeste da área. Esta direção mostra-se controlada por ela mesma e pelas direções  $N15^{\circ}E \pm 15^{\circ}$  e  $E-W \pm 20^{\circ}$ .

Da análise dos diversos mapas de frequência de fraturas, aliados aos dados geológicos existentes sobre a área, diversas observações podem ser feitas, a saber:

- As direções  $N15^{\circ}E \pm 15^{\circ}$  e  $E-W \pm 20^{\circ}$  são duas das mais importantes e antigas direções de ruptura que influenciaram e condicionaram a estruturação e o arcabouço geológico (Figura 4). A importância destas duas direções rúpteis é confirmada pelos dados geológicos existentes e pelas observações de campo, que mostram as principais estruturas, de diversas idades, alinhadas preferencialmente segundo estas direções.
- As direções  $N50^{\circ}E \pm 20^{\circ}$  e  $N50^{\circ}W \pm 20^{\circ}$  indicam terem se formado uma mesma época, porém são mais jovens que as direções anteriores (sua distribuição é condicionada por elas). O fato de estas direções serem da mesma idade é coerente dentro do modelo compressivo defendido para a formação dos empurrões e das falhas inversas de direção aproximada N-S. Com um eixo de compressão máxima E-W, seria de esperar a formação de um par conjugado de fraturas cizalhantes com direções NE-SW e NE-SE. Os dados de campo confirmam preliminarmente o caráter cizalhante destas fraturas, uma vez que um movimento dextral corresponde à direção NE-SW e um movimento sinistral, à direção NW-SE.



Legenda

-  - Sequências metassedimentares do Proterozóico Inferior a Médio (Supergrupos Minas e Espinhaço).
-  - Sequência vulcano-sedimentar arqueana do tipo "greenstone belt" (Supergrupo Rio das Velhas).
-  - Complexo Migmatito-granulítico de Minas Gerais  
 mg - migmatito e gnaisses,  
 gx - gnaisses e xistos,  
 gq - gnaisses e quartzitos,  
 gt - granulitos,  
 gr - granitóides e migmatitos homogêneos.
-  - Falhas inversas ou de empurrão

Fig. 2 - Mapa geológico esquemático.

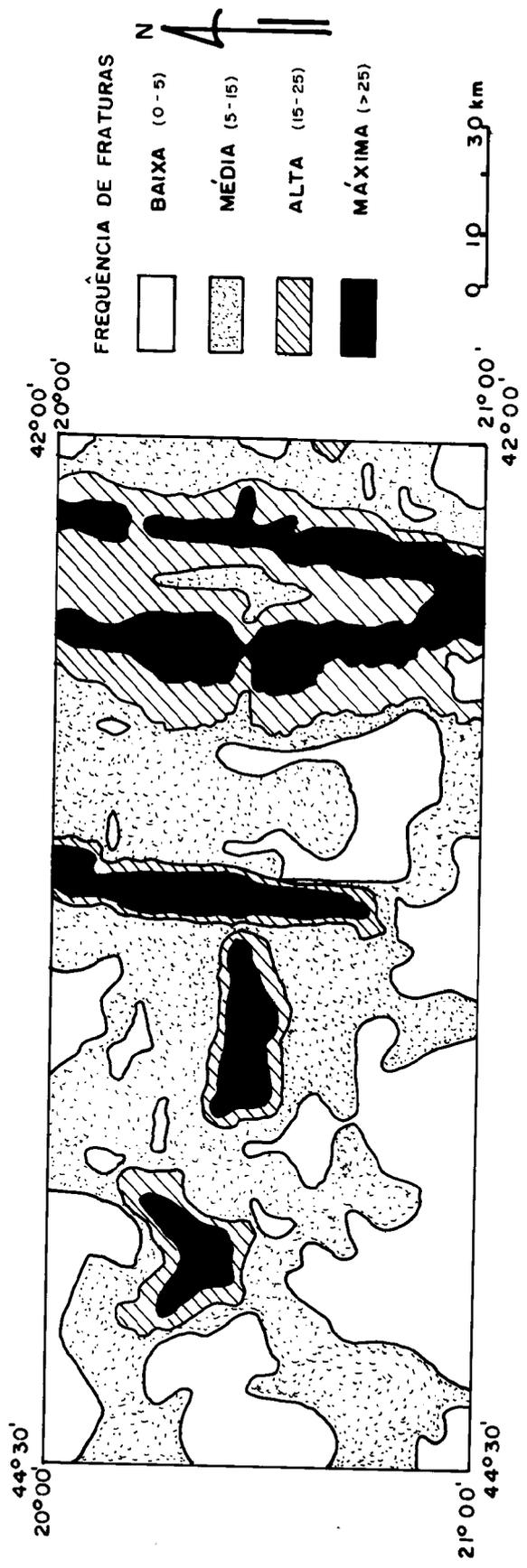


Fig. 3 - Mapa de frequência de fraturas - direção N15°E±15°.

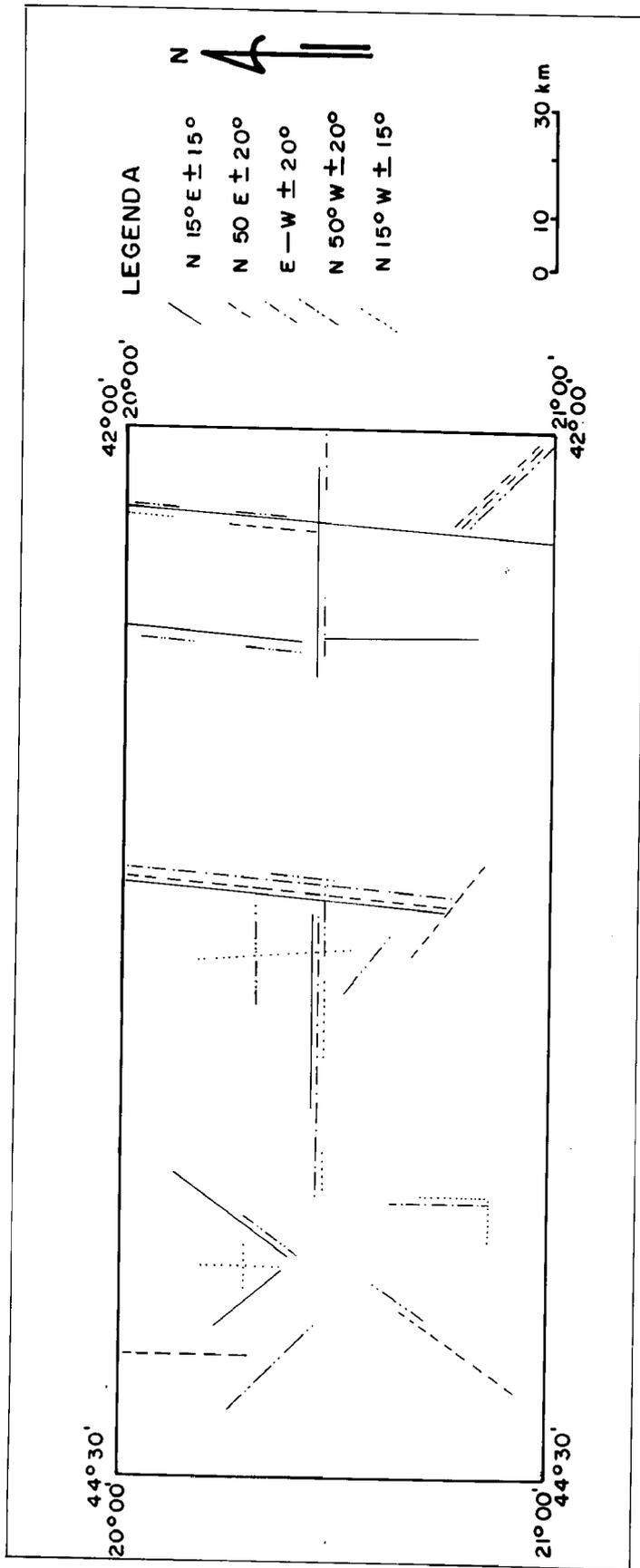


Fig. 4 - Linhas de máximo de frequência de fraturas por direção.

- Sobre a direção  $N15^{\circ}W \pm 15^{\circ}$  pode-se dizer apenas que ela é mais jovem que as direções de fraturamento  $N15^{\circ}E \pm 15^{\circ}$  e  $E-W \pm 20^{\circ}$ , pois é condicionada por estas. Esta direção não condiciona nem é condicionada por nenhuma das outras direções. Alinham-se nesta direção ocorrências de basaltos pertencentes a duas gerações distintas, Pós-Espinhaço - Pré-Brasiliano e Mesozóicos (Schorsch, 1975).
- O padrão anômalo observado na análise estatística da direção  $N15^{\circ}E \pm 15^{\circ}$  (Figura 3) com relação à área do Quadrilátero Ferrífero, onde esta direção se mostra condicionada pelas direções  $N50^{\circ}E \pm 20^{\circ}$  e  $N50^{\circ}W \pm 20^{\circ}$ , é mais uma evidência de que os metassedimentos Minas formaram-se em outra região, cujo regime tectônico era diferente.
- Através da análise dos mapas de frequência de fraturas, observa-se um comportamento distinto, em termos de padrão de fraturamento, dos migmatitos complexos e dos granulitos na porção leste da área, em relação à parte oeste. Isto evidencia duas províncias estruturais diferentes, interpretadas como dois grandes blocos, os quais expõem atualmente níveis crustais diferentes.

Os resultados obtidos mostra a potencialidade desta abordagem dos produtos de sensores remotos que, aliada a dados bibliográficos e de campo e a um bom conhecimento da área, permite obter de uma maneira rápida informações sobre os grandes eventos tectônicos que atuaram sobre a região, contribuindo para o entendimento de sua evolução.

#### 4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALIYEV, A. Regional Fracturing of the Pamirs and its Mettalogenic Significance. Doklady Akad. Nauk. SSR, vol. 250, p. 90-93, Moscou, 1980.
- DORR II, J.V.N. Physiographic, stratigraphic and structural development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brasil. U.S.G.S., Prof. Pap. 641-A, 110 p., Washington D.C., 1969.
- DORR II, J.V.N.; GAIR, J.E.; POMERENE, J.B.; RINEARSON, G.A. Revisão da estratigrafia pré-cambriana do Quadrilátero Ferrífero. DNPM-DFPM. v.81, 31 pp., Rio de Janeiro, 1957.
- INDA, H.A.V.; SCHORSCHER, H.D.; DARDENNE, M.A.; SCHOBENHAUS, C.; HARALY, N.Z.E.; BRANCO, P.C. de A.; RAMALHO, R. O Craton do São Francisco e a Faixa de Dobramentos Araçuaí. IN: SCHOBENHAUS, C. et alii. Texto explicativo do Mapa Geológico do Brasil e da Área Oceânica Adjacente incluindo os Depósitos Minerais, escala 1:2.500.000, M.M.E., D.N.P.M., Brasília, DF, 1984.
- SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e Sistemática na Análise de Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. Not-Geomorfol. 16(32): 71-104. Campinas, 1976.
- SCHORSCHER, H.D. Entwicklung des polijmetamorphen prakambrischen Raumes Itabira, Minas Gerais, Brasilien, Heidelberg. Universitat Heidelberg, 1975. 304 p. (Tese Doutorado).

- SCHORSCHER, H.D. Alpinotype Deckentektonik im Präkambrium des Eiserner Vierecks, Minas Gerai, Brasilien - 5. Geowiss. Lateinamerika Kolloquium Resumos 33-35, Clausthal - Zellerfeld, 1976.
- SCHORSCHER, H.D. Evolução Geotectônica e Petrogenética do Embasamento Arqueano do Quadrilátero Ferrífero. Anais Acad. Bras. Ci., 51(4):767-768, 1979.
- SCHORSCHER, H.D. Geotectonic Evolution of the Quadrilátero Ferrífero, Brasil. IN: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 26., Paris, 1980. Abstracts. Paris, v. 2, p. 613.
- SCHORSCHER, H.D.; GUIMARÃES, P.F. Estratigrafia e tectônica do Supergrupo Minas e geologia do distrito ferrífero de Itabira. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 29. Ouro Preto, 1976. Roteiro de excursões. Belo Horizonte, SBG, 1976, p. 75-86.
- SCHORSCHER, H.D.; SANTANA, F.C.; POLONIA, J.C.; MOREIRA, J.M.P. Quadrilátero Ferrífero - Minas Gerais State: Rio das Velhas. Intern. Symp. Archean. & Early Proterozoic Crustal Evol. & Metall. ISAP, Excursion Guide (annex) - Field Trip N. 3, 44 p. C.P.M.-S.M.E., Salvador, 1982.
- VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. dos Metodologia de interpretação de dados de Sensoriamento Remoto e Aplicações em Geologia. São José dos Campos, INPE, nov. 1982 (INPE-2227-MD/014).