

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DA EVOLUÇÃO DE PARTE DO SUPERGRUPO ESPINHAÇO E  
DE SEU EMBASAMENTO ATRAVÉS DA ANÁLISE DE FRATURAMENTO

Paulo Veneziani  
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq  
Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12200 - São José dos Campos - SP - Brasil

Hans D. Schorscher  
Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências - IG/USP  
Caixa Postal 20899 - 01498 - São Paulo - SP - Brasil

RESUMO

A fotointerpretação de feixes de fraturamentos a partir de lineações de relevo e drenagem extraídas de produtos fotográficos de sensores remotos (MSS, RBV e TM LANDSAT, SLAR do Projeto RADAMBRASIL) foi aplicada à região do Espinhaço Meridional, situada entre os paralelos 18<sup>00</sup>' e 19<sup>00</sup>'S e meridianos 44<sup>30</sup>' e 42<sup>00</sup>'W em Minas Gerais e completada com trabalhos de campo. Os resultados permitiram a elaboração dos seguintes mapas regionais na escala de 1:250.000 preliminares: mapa geológico regional integrado; mapa de feixes de fraturamentos; mapa de fotolineamentos. Ficaram evidenciadas as direções de lineamentos N-S, E-W, NE-SE e NW-SE, que correspondem a traços de planos tectônicos gerados por atividades policíclicas (de arqueanas a mesozóicas), poligenéticas, por esforços distensivos generativos-sedimentares e compressivos orogênicos. As deformações e o arcabouço estrutural da cadeia Espinhaço são compatíveis com o modelo geotectônico-evolutivo de tectônica de placas moderada e ensialica.

ABSTRACT

The interpretation of remote sensing products (MSS, RBV, TM and SLAR images) was applied to the region of Espinhaço Meridional, Minas Gerais, Brazil. This region is located between 18<sup>00</sup>' and 19<sup>00</sup>' of South latitude and 44<sup>30</sup>' and 42<sup>00</sup>' of West longitude. The study was based on the analysis of joint trends, geological data from literature and field works. Preliminary results were obtained at the scale of 1:250.000: integrated geological map; joint trends map; photolineaments map. The analysis of patterns of fracturing showed the importance of N-S, E-W, NE-SW and NW-SE events of brittle and brittle ductile tectonics. These trends are related to polycyclic polygenetic activities (archean to mesozoic) developed by sedimentary generative strain of distension and orogenic compression. The structures and deformation of the Espinhaço ridge are compatible with moderate ensialic plate tectonic evolution.

## 1. INTRODUÇÃO

A área estudada (Figura 1) é constituída por rochas pré-cambrianas metamórficas com idades que variam de arqueanas a proterozóicas superiores (Tabela 1), e por rochas basálticas mesozóicas e produtos de intemperismo terciário a recentes quantitativamente subordinados.

A área, de evolução policíclica complexa por orogêneses pré-cambrianas superimpostas, a qual sofreu também tectonismo e magnetismo fanerozóico, possui mapeamento geológico para cerca de 60% de sua extensão. No entanto, são folhas com escalas diferentes e descontínuas que, para sua avaliação correta, necessitam de trabalhos de campo e petrogenéticos para integrar e homogeneizar suas informações.

A visão sinótica oferecida pelos produtos de sensores remotos utilizados, atualmente com uma sensível melhora em suas resoluções espacial e espectral (cerca de 30 m e 7 bandas, respectivamente, nas imagens do TM/LANDSAT), permite explorar as propriedades espaciais, espectrais e temporais de cada alvo, utilizando as características mais favoráveis de cada produto. Assim foi possível a integração dos dados bibliográficos com os levantamentos próprios de campo, e sua extrapolação preliminar para as demais partes da região enfocada resultou em um mapa litoestrutural na escala de 1:250.000. Adicionalmente realizou-se a análise de elementos de tectônica rúptil e rúptil-dúctil, com a finalidade de melhor caracterizar a evolução policíclica.

Na impossibilidade de apresentar os resultados principais, ou seja, os mapas na escala de 1:250.000 elaborados para toda a área do projeto, devido às características normativas desta publicação, optou-se pela discussão de dois exemplos ilustrativos para a evolução das regiões de Conselheiro Mata e Gouveia-Costa Sena, Minas Gerais.

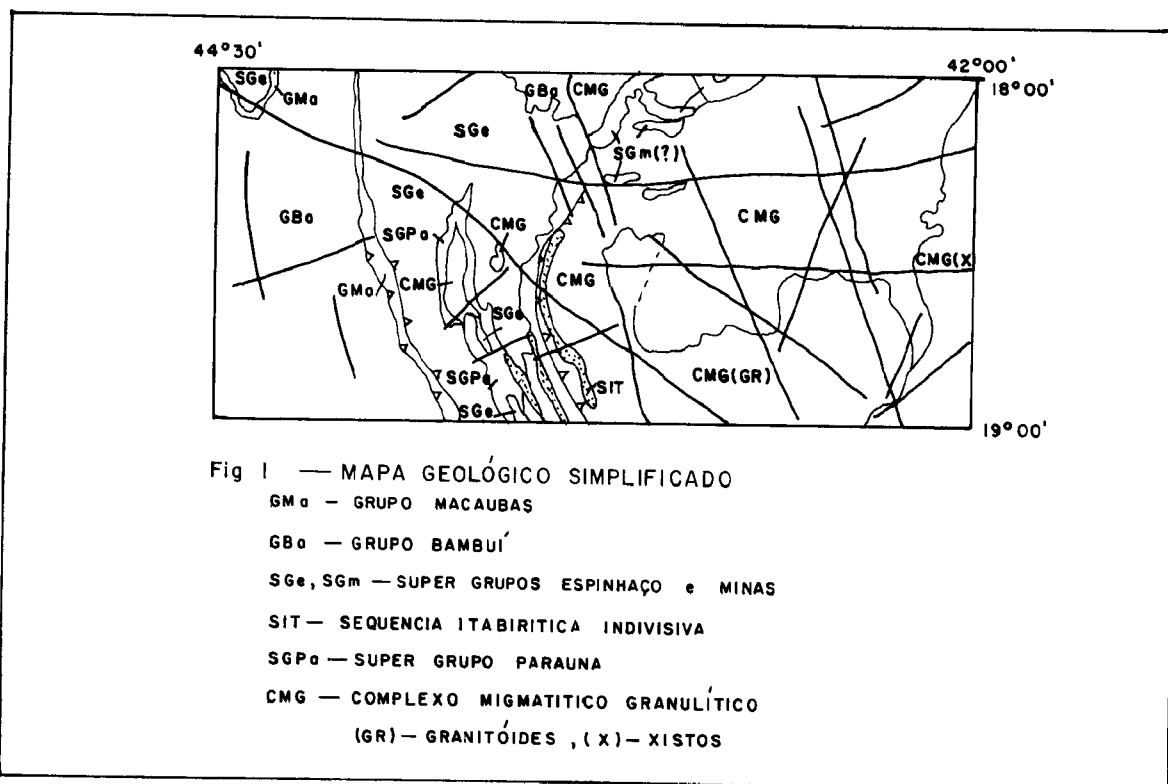


TABELA 1

SUPERGRUPO	IDADE INFERIDA (1,2)
SÃO FRANCISCO	PROTEROZÓICO MÉDIO A SUPERIOR (1)
MINAS E ESPINHAÇO	PROTEROZÓICO INFERIOR A MÉDIO EM PARTES PENECONTEMPORÂNEOS (1).
PARAÚNA E RIO DAS VELHAS	CINTURÕES DE ROCHAS VERDES ARQUEANAS, POSSIVELMENTE PENECONTEMPORÂNEOS (1,2).
COMPLEXO MIGMATITO-GRANULÍTICO DE MINAS GERAIS	ARQUEANO, RETRABALHO NOS CICLOS TRANSAMAZÔNICO E BRASILIANO (1).

(1): Inda et alii (1984)

(2): Fogaça et alii (1984)

## 2. METODOLOGIA

Utilizaram-se imagens fotográficas dos seguintes sistemas sensores, sempre na escala de 1:250.000:

- 1) MSS/LANDSAT;
- 2) RBV/LANDSAT;
- 3) TM/LANDSAT banda 5;
- 4) mosaicos de radar confeccionados pelo Projeto RADAMBRASIL.

A fotoanálise e fotointerpretação destes produtos basearam-se nos critérios de Veneziani e Anjos (1982), adaptados a partir de Soares e Fiori e (1976). Consistem essencialmente na caracterização geomórfica, através da análise sistemática da textura e da estrutura fotográfica, para definir e delimitar zonas homólogas, às quais se associa significado geológico. Assim obtêm-se mapas fotogeológicos com a definição de unidades litoestratigráficas e mapas estruturais que contêm informações, principalmente, sobre a geometria unidimensional de elementos de tectônica, no caso, rúptil e rúptil-dúctil.

Para a região estudada integraram-se os dados da fotoninterpretação com os bibliográficos e elaboraram-se mapas na escala de 1:250.000 que contêm as principais unidades litoestratigráficas regionais. Sobre mapas de lineações e alinhamentos de relevo e de drenagem também confeccionados definiram-se zonas homólogas de elementos unidirecionais fortemente estruturados (feixes de fraturamentos). Paralelamente obtiveram-se os mapas de fotoalinhamentos (traços de falhamentos ou lineamentos).

Definiram-se as direções preferenciais para os traços de planos tectônicos cujo significado geológico procurou-se verificar em trabalhos de campo preliminares.

## 3. RESULTADOS

A Figura 1 mostra um esboço geológico muito simplificado da área integral do projeto. As principais direções de planos tectônicos correspondem essencialmente a feixes de fraturamentos e lineamentos. Podem ser associados a esforços distensivos e compressivos da seguinte maneira:

- 1) N-S ( $\pm 10^0$ ) e suas variações de N10<sup>0</sup> a 30<sup>0</sup>E e de N10<sup>0</sup> a 30<sup>0</sup>W correspondem preferencialmente a falhamentos de gravidade, inversos/empurrões e secundariamente a eixos de dobramentos regionais;
- 2) E-W ( $\pm 10^0$ ) e suas variações de N70<sup>0</sup> a 80<sup>0</sup>E e de N70<sup>0</sup> a 80<sup>0</sup>W correspondem preferencialmente a direções de falhamentos de gravidade e transcorrentes e de eixos de ondulações regionais;
- 3) N40<sup>0</sup> a 60<sup>0</sup>W (NW-SE) corresponde preferencialmente a falhamentos transcorrentes sinistrais e secundariamente a falhamentos de gravidade;
- 4) N40<sup>0</sup> a 60<sup>0</sup>E (NE-SW) corresponde preferencialmente a falhamentos transcorrentes dextrais e secundariamente a falhamentos de gravidade.

Para discussão das áreas individuais de Conselheiro Mata e Gouveia-Costa Sena fazem-se necessários, porém, apanhados geológicos de maior detalhe.

A Figura 2 mostra o mapa da região de Conselho Mata obtido através de fotointerpretação, reconhecimento de campo e integração de dados preexistentes. As unidades litoestratigráficas do Supergrupo São Francisco - Grupo Macaúbas e do Super Grupo Espinhaço Meridional serão descritas brevemente, segundo Diniz e Pinheiro (1980). Quanto ao Grupo Bambuí, adota-se a descrição de Marques Jr e Cordeiro (1980).

### 3.1 - Super Grupo São Francisco

(GBa) - Grupo Bambuí - calcários e calcários dolomíticos.

(GMa) - Grupo Macaúbas - quartzitos conglomeráticos, podendo ocorrer também metagrauvascas e metassiltitos

### 3.2 - Super Grupo Espinhaço

(FmRPG) - Formação Rio Pardo Grande - metassiltitos laminados, metaargilitos, intercalações de quartzitos e metaargilitos e dolomitos lenticulares.

(FmCP) - Formação Córrego Pereira - quartzitos, quartzitos feldspáticos com lentes de metaargilitos.

(FmCBa) - Formação Córrego da Bandeira - ritmitos (intercalações de quartzitos finos, metaargilitos ou filitos quartzosos, metassiltitos ou quartzo filitos) e quartzitos.

(FmCBo) - Formação Córrego dos Borges - quartzitos, quartzitos sericíticos e brechas intraformacionais.

(FmSR) - Formação Santa Rita - quartzitos sericíticos, filitos quartzosos e metassiltitos.

(FmGM) - Formação Galho do Miguel - quartzitos às vezes com megaestratificações cruzadas.

Feições importantes nesta região estão representadas por rochas magmáticas básicas descritas por Diniz e Pinheiro (1980) como "diques de diabásio e equivalentes tardi a pós-tectônicos".

O contato entre as rochas dos Grupos Macaúbas e Bambuí é parcialmente delimitado por falha inversa/empurrão com direção aproximada N-S e vergência para W. Entre as rochas do Grupo Macaúbas e do Super Grupo Espinhaço é discordante e entre as várias formações deste último é normalmente transicional e gradativo. A direção preferencial do acamamento e/ou foliação também é aproximadamente N-S, com mergulhos predominantes para E. Esta atitude sofre variações locais ocasionadas por falhamentos cizalhantes.

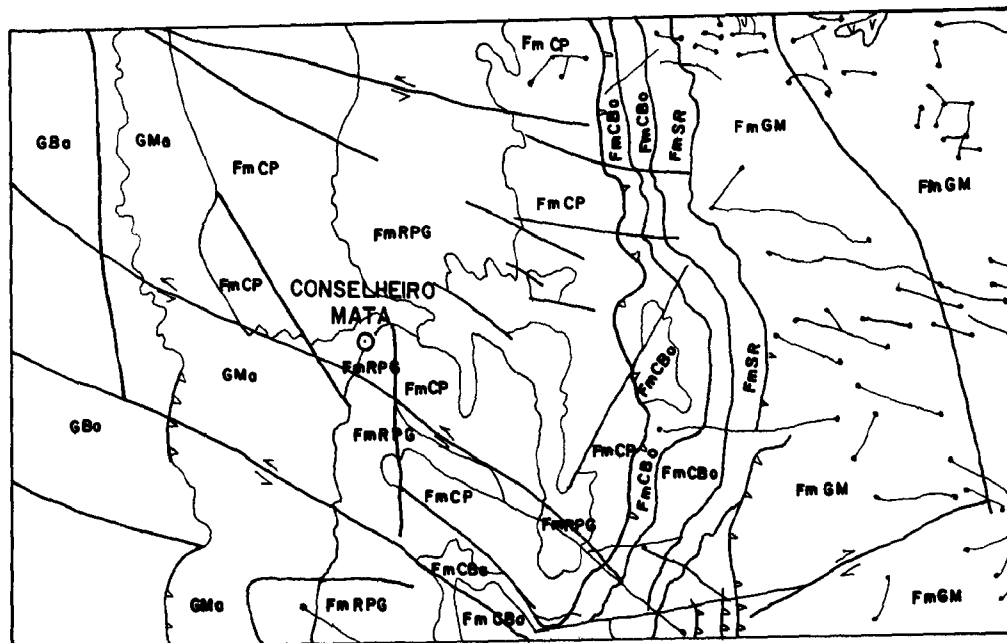


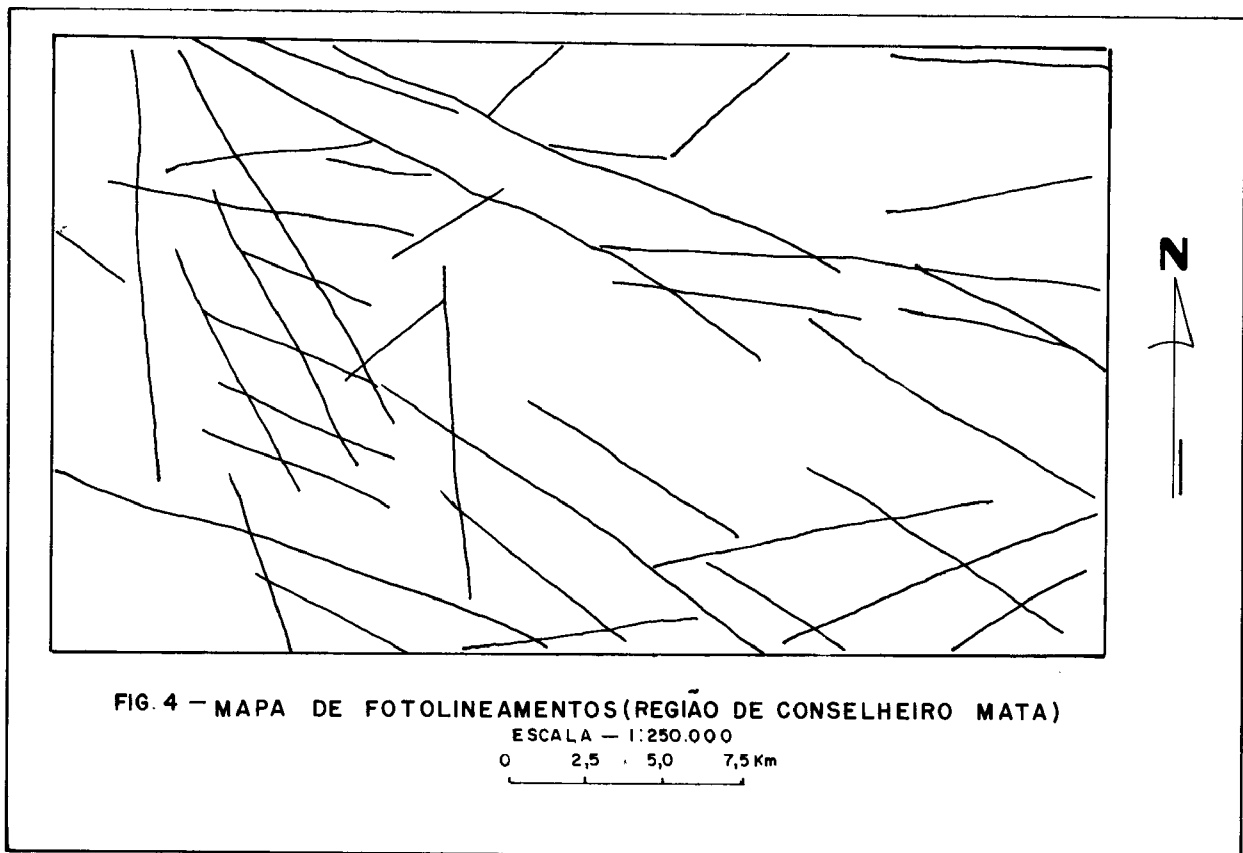
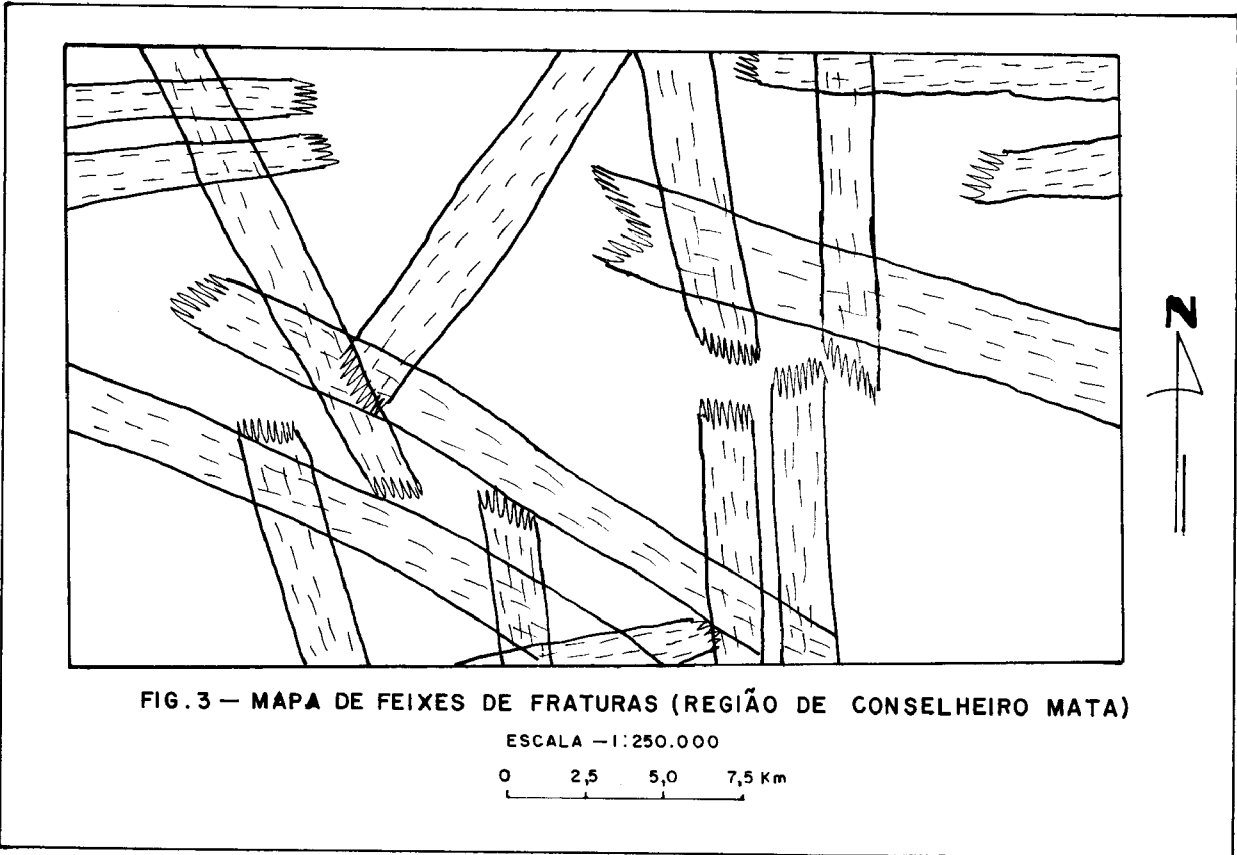
FIG. 2 — MAPA GEOLÓGICO DA REGIÃO DE CONSELHEIRO MATA

ESCALA — 1:250.000  
 0 2,5 5,0 7,5 km

SUPER GRUPO SÃO FRANCISCO	<b>GBo</b>	GRUPO BAMBUÍ INDIVISO	
	<b>GMe</b>	GRUPO MACAÚBAS INDIVISO	
SUPER GRUPO ESPINHAÇO	<b>FmRPG</b>	FORMAÇÃO RIO PARDO GRANDE	ROCHAS INTRUSIVAS
	<b>FmCP</b>	FORMAÇÃO CÓRREGO PEREIRA	DIQUES DE ROCHAS BÁSICAS
	<b>FmCBo</b>	FORMAÇÃO CÓRREGO DA BANDEIRA	
	<b>FmCBo</b>	FORMAÇÃO CÓRREGO DOS BORGES	
	<b>FmSR</b>	FORMAÇÃO SANTA RITA	
	<b>FmGM</b>	FORMAÇÃO GALHO DO MIGUEL	

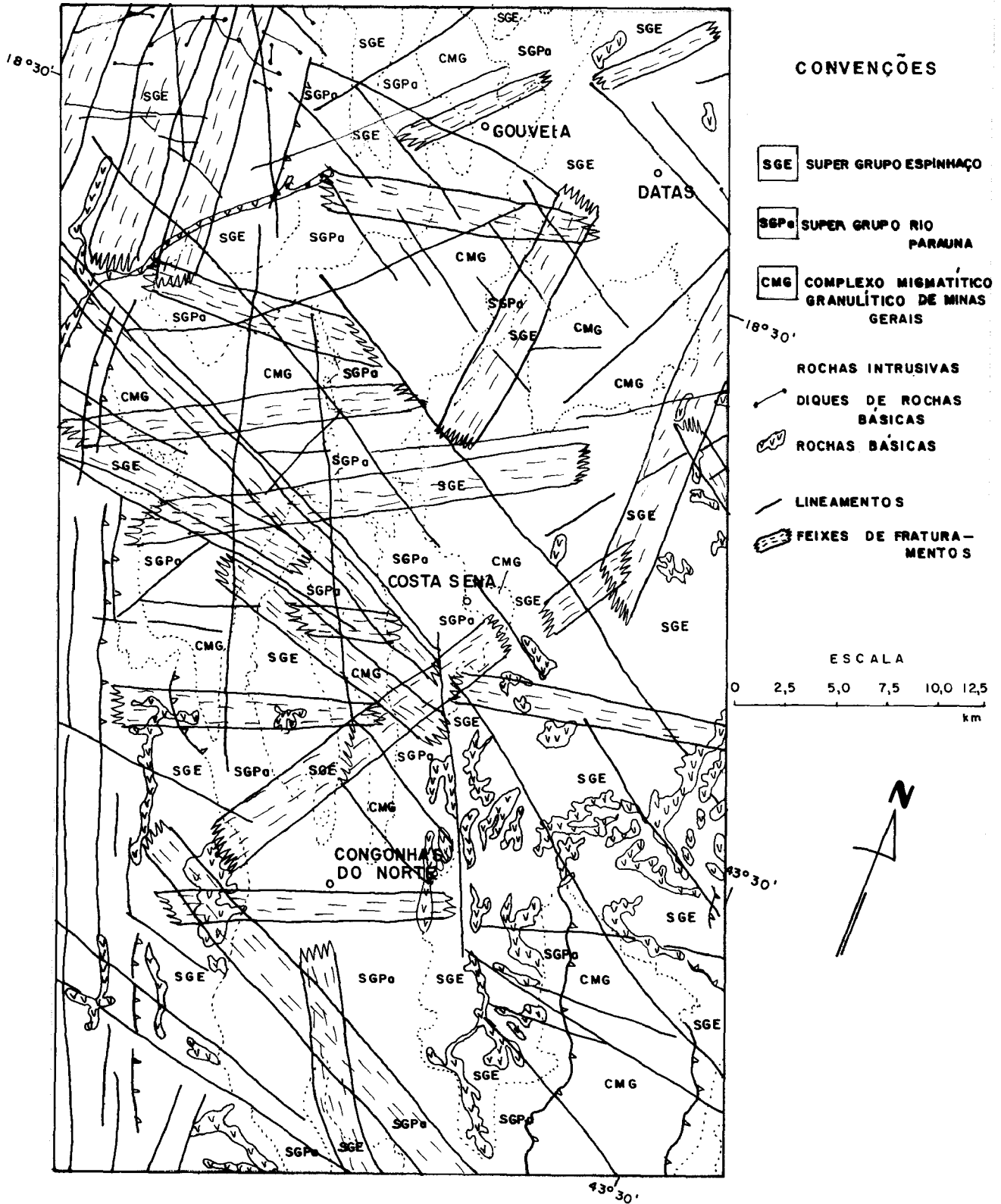
As Figuras 3 e 4 mostram respectivamente os feixes de fraturamentos e os lineamentos fotointerpretados. Em conjunto com as observações de campo foram possíveis as seguintes constatações:

1. Os feixes de direções N-S a N10W coincidiram com a direção preferencial de acamamento. Estas fraturas encontram-se em sua maioria preenchidas por quartzo recristalizado, e que evidencia atividades tectônicas. Os lineamentos nestas mesmas direções coincidem parcialmente com falhas inversas/empurrões e/ou de gravidade, como anteriormente verificado por Diniz e Pinheiro (1980).
2. Os feixes com direções em torno de N50<sup>0</sup> a 60<sup>0</sup>W e os fotolineamentos nestas mesmas direções coincidiram com um sistema de falhamentos transcorrentes e/ou de gravidade. Segundo os autores acima citados, quando transcorrentes são sinistrais.
3. Os feixes e lineamentos EW a N80<sup>0</sup>W coincidiram com direções de distensão, como mostram os diques de diabásio.
4. Os feixes e lineamentos N40<sup>0</sup> a 50<sup>0</sup>E provavelmente formam um par conjugado de cisalhamento com as direções N50<sup>0</sup> a 60<sup>0</sup>W, com movimentação dextral.





# REGIÃO DE COSTA SENA (M.G)



## CONVENÇÕES

- SGE SUPER GRUPO ESPINHAÇO
- SGPo SUPER GRUPO RIO PARAUNA
- CMG COMPLEXO MIGMATITICO GRANULITICO DE MINAS GERAIS

## ROCHAS INTRUSIVAS

- DIQUES DE ROCHAS BÁSICAS
- ROCHAS BÁSICAS

## LINEAMENTOS

- FEIXES DE FRATURAMENTOS

## ESCALA

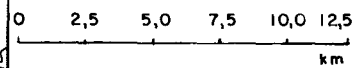


FIG. 5 — MAPA GEOLÓGICO SIMPLIFICADO

A análise destes dados mostra que pelo menos 2 regimes de esforços foram responsáveis pelo desenvolvimento das feições estruturais descritas:

1. Um regime compressivo com o componente principal E-W e o esforço atuando de E para W.
2. Um regime distensivo que possibilitou a intrusão de diques básicos (Figura 2) nas 4 direções preferenciais.

A Figura 5 mostra o mapa simplificado para a região de Gouveia-Costa Sena, Minas Gerais. Verifica-se a ocorrência de unidades dos Supergrupos Espinhaço e Paraúna (Fogaça et alii, 1984) e ainda do Complexo Migmatítico Granulítico de Minas Gerais (Inda et alii, 1984).

As principais litologias do Super Grupo Espinhaço na área são quartzitos, metacomglomerados e filitos. Do Super Grupo Paraúna, são metavulcânicas ultramáficas e félsicas, associadas a metassedimentos químicos e clásticos, xistos, quartzitos e metacomglomerados, que constituem com as rochas graníticas migmatíticas do Complexo Migmatítico Granulítico de Minas Gerais associação típica "granite greenstone" arqueana. (Fogaça et alii, 1984). Este Complexo, por sua vez, na área em questão é constituído por rochas gnaíssico-migmatíticas e granitóides. Cortando estas unidades litotectônicas ocorrem rochas metabásicas sin a tardi-tectônicas e basaltos principalmente sob a forma de diques e "stocks".

Esta área evidencia o policiclismo por seguidas orogêneses arqueanas e proterozóicas (Tabela 1) e por ter sofrido também tectonismo e magmatismo fanerozóico.

Os contatos entre as três grandes unidades são normalmente descontínuidades tectônicas, preferencialmente falhas inversas/empurrões.

Foram identificadas 4 direções preferenciais para os feixes de fraturamentos e lineamentos, parcialmente verificadas no campo e descritas em trabalhos anteriores (Fogaça e Sholl, 1984; Fogaça e Dani, 1982) que correspondem aos seguintes traços de planos tectônicos:

1. N10 e 20W e N-S - falhamentos inversos/empurrões e ou de gravidade;
2. N50 a 60W - falhamentos transcorrentes sinistrais e de gravidade;
3. N40 a 50E - falhamentos transcorrentes dextrais e de gravidade;
4. N60-80E, N70-80W e EW - falhamentos de gravidade de transcorrentes sinistrais.

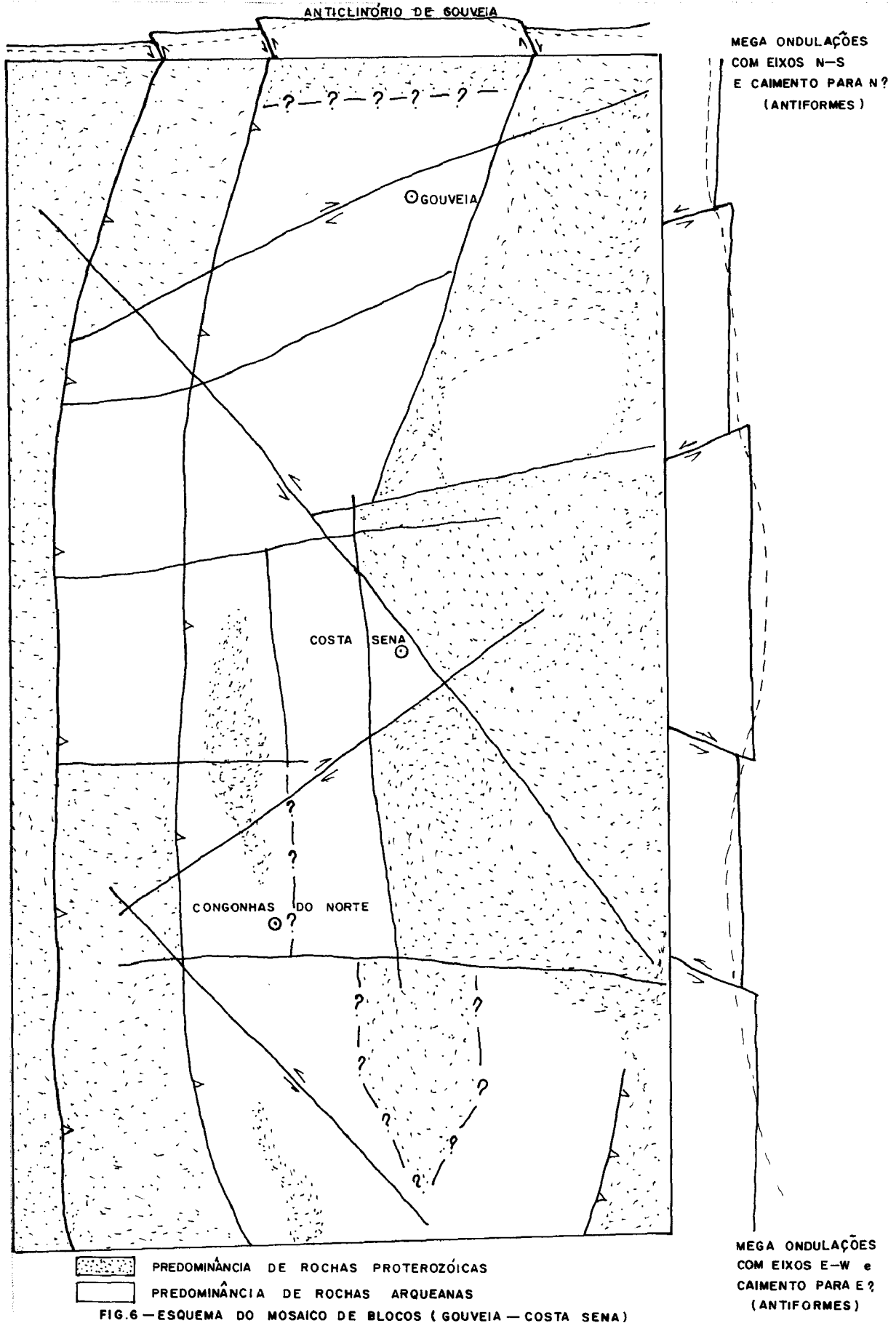
É evidente que estes traços de planos tectônicos são reflexos de fraturas geradas e reativadas durante eventos tectônicos mais jovens (até fanerozóicos).

As principais evidências da reativação destes sistemas são:

- a) Coincidência de direções condicionantes dos Supergrupos Rio Paraúna e Espinhaço (N10 a 20W e N-S).

- b) o fato de estas direções representarem falhas de crescimento durante a sedimentação e falhas inversas/empurrões com vergência para W durante a orogênese Espinhaço.
- c) Preenchimento por rochas metabásicas e básicas de idades pré-cambrianas e fanerozóicas em fraturas com estas mesmas direções.

Atividades similares, policíclicas e poligenéticas, podem ser mostradas também para as demais direções supracitadas (Almeida Abreu e Schorscher, 1984).



Com base nestes dados, levantaram-se as seguintes hipóteses para a região de Gouveia-Costa Sena:

1. As direções  $N10^{\circ}-20^{\circ}W$  estão, provavelmente, relacionadas como "rifteamento" arqueano, isto é com um agregado de estruturas tensionais ("grabbens") que controlam a subsidência, o magmatismo e vulcanismo e a aculumação de sedimentos relacionados ao Super Grupo Paraúna (1º ciclo distensivo generativo sedimentar).
2. As direções N-S são variações das primeiras.
3. As direções E-W e suas variações, tão antigas quanto as  $N10^{\circ}-20^{\circ}W$  e N-S, não estão claramente definidas com relação à movimentação em termos arqueanos, podendo estar relacionados a transcorrências.
4. Ao estágio de distensão seguiu-se um orogenético com regime compressivo, impondo deformações e metamorfismo à sequência vulcano sedimentar, que passou a compor a associação típica do "greenstone belt".
5. Toda a região sofre um novo estágio de distensão controlado por direções N-S e suas variações (falhamentos de gravidade) que, por sua vez, são cortadas por uma rede complexa de falhas normais longitudinais (E-W e suas variações) e transversais ( $N40^{\circ}$  a  $60^{\circ}E$   $N40^{\circ}$  a  $60^{\circ}W$ ), provavelmente durante do Proterozóico inferior.
6. Forma-se um mosaico de blocos (quilométricos) com movimentação vertical diferenciada, controlados essencialmente por "trends" N-S e E-W, sobre os quais instala-se a bacia do Espinhaço que exhibe ondulações nestas 2 direções preferenciais (Inda et alii, 1984), responsáveis pela geometria e configuração ao nível regional do Super Grupo Espinhaço (Figura 6).
7. Um soerguimento provável a este proporciona um segundo regime compressivo (responsável pela orogênese Espinhaço) que resulta nos falhamentos inversos/empurrões com vergência para W e direções  $N10^{\circ}$  a  $20^{\circ}W$  e N-S que aproveitaram estas antigas direções de fraqueza. Desenvolveram-se paralelamente os sistemas  $N40^{\circ}-60^{\circ}W$  e  $N40^{\circ}-60^{\circ}E$  transcorrentes (sinistrais e dextrais, respectivamente), enquanto as direções E-W e suas variações sofrem distensão.
8. Segue-se uma descompressão final do ciclo Espinhaço acompanhada de magmatismo quando a maioria das direções reativam-se (que coincidem com as da reativação fanerozóica).

A posição cronológica exata do magmatismo que produziu os diques de diabásio, metamorfisados regionalmente durante a orogenia Espinhaço (Figura 4), é ainda incerta. Pelo próprio fato de serem rochas de metamorfismo regional, devem ser consideradas como pertencentes ao início do estágio nº 7.

Estas reconstruções da evolução estrutural do Super Grupo Espinhaço são bastante compatíveis com resultados obtidos em outras regiões pré-cambrianas de idade e configurações similares. É possível relacioná-las, por exemplo, com modelos de orogêneses ensiálica proterozóica, tais como os propostos por Wyne Edwards (1976), Dewey (in Krzöner, 1982) e Krzöner (1982). Estes autores consideraram em estiramento ("stretching") litosférico responsável pela formação das bacias e um empilhamento intracrustal (através de falhamentos de empurrão) ("thrust restacking") responsável pela orogenia de cinturões proterozóicos.

A formação do mosaico de blocos descrita no estágio 5 pode ser devida à fase de "stretching" da crosta siálica, onde as zonas de fraqueza antigas N-S comportam-se como falhamentos de rejeito vertical e, concomitantemente, as zonas E-W comportam-se como falhamentos de rejeito horizontal. Seguiu-se então a fase de "thrust restacking", responsável pela orogenia, através de empurrões com vergência para W, como descrito no estágio nº 7.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA ABREU P.A.; SCHORSCHER, H.D. Archean Basement Configuration and Influences of the Lower Proterozoic Espinhaço Supergroup in Minas Gerais, Brazil. In: International Geologic Congress, 27th, Moscow, USSR, 1984 (Colloquium Archean Sedimentation and Archean/Proterozoic), (C: 05.01.2).
- DINIZ, H.B.; PINHEIRO, R.M. "Projeto Mapeamento Geológico do Espinhaço Meridional - Relatório de Quadriculas: Conselheiro Mata". MME/DNPM. Convênio DNPM-FUNDEP. Diamantina, MG, 1980.
- FOGAÇA, A.C.C.; ALMEIDA ABREU, P.A.; SCHORSCHER, H.D. "Estratigrafia da Sequência Supracrustal Arquana na Porção Mediana - Central da Serra do Espinhaço. Minas Gerais". in: Congresso Brasileiro de Geologia, 33, Rio de Janeiro, 1984 (Simpósio: Greenstone Belts), Soc. Bras. Geol., Rio de Janeiro, 1984.
- FOGAÇA, A.C.C.; SCHÖLL, W.L. "Projeto Mapeamento Geológico do Espinhaço Meridional - Relatório de Quadriculas: Guinda-Gouveia". MME/DNPM. Convênio DNPM-FUNDEP. Diamantina, MG, 1984.
- 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 de 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 Depósitos Minerais, escala 1:2.500.000, MME, DNPM. Brasília, DF, 1984.

KRÖNER, A. Archean to Early Proterozoic Tectonics and Constant Evolution. A Review in: Revista Brasileira de Geociências, vol. 12 nº 1, 2 e 3 (Anais Intern. Symposium on Archean and Early Proterozoic Geol. Evol. and Metall. - ISAP) SBG-SME (Ba) Salvador, Bahia, Brasil, 1982. p. 15-31.

MARQUES, JR.; F.; CORDEIRO, W. Projeto Mapeamento Geológico do Espinhaço Meridional - Relatório de Quadrículas: Contagem. MME-DNPM, Convênio DNPM-FUNDEP, Diamantina, MG, 1980.

SOARES, P.C.; FIORI, A.P. Lógica e sistemática na análise e interpretação de fotografias aéreas em geologia - Not. Geomorf., Campinas, 16 (32): 71-104, 1976.

VENEZIANI, P.; ANJOS, C.E. dos Metodologia de interpretação visual de dados de Sensoriamento Remoto e aplicações em geologia - INPE-2227-MD/014, São José dos Campos, SP. 1982.

WYNE-EDWARDS, H.R. Proterozoic ensialic orogenesis: the millipede model of ductil plate tectonics. Am. Journ. of Science, 276 (8): 927-953, 1976