

*sympo=3463789*

QUINTO CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGIA, ARGENTINA, 1982, ACTAS, II: 11-21



## MODELO GEOMETRICO E CINEMATICO PARA OS FALHAMENTOS DA FAIXA DE DOBRAMENTO RIBEIRA - ESTADO DE SAO PAULO - BRASIL

Egydio da Silva, M.\*  
Sadowski, G.R.\*  
Trompette, R.R.\*

\* Instituto de Geociencias, Universidade de São Paulo.

### RESUMO

A faixa de dobramento Ribeira no Estado de São Paulo é constituída por: - seqüências metassedimentares do Grupo Açungui e São Roque do Pré-Cambriano Superior metamorfoseados no fácies xistos verdes. - Gnaisses e xistos, alguns destes migmatizados, que são os equivalentes mesozonais do Grupo Açungui. - Migmatitos e granulitos do Proterozoico Inferior (embasamento reativado). - Rochas granitóides intrusivas sin e pós-tectônicas (450 a 650 m.a.).

As feições estruturais marcantes nesta região são as grandes falhas transcorrentes de direção N50-70E. Estas grandes falhas possuem como característica o desenvolvimento de fraturas antitéticas o que vem indicar uma cinemática do tipo divergente, com feições gravitacionais associadas, onde as seqüências metassedimentares estão preferencialmente preservadas.

### ABSTRACT

In the State of São Paulo the Ribeira Folded Belt comprises: - metasedimentary sequences of the Açungui and São Roque Groups of Late Proterozoic age (850-600 my) metamorphosed in the Greenschist facies. - Gneisses and schists, some of them migmatized, which are mesozonal equivalents of the Açungui Group. - Migmatites and granulites of Early Proterozoic age (reactivated basement). - Intrusive syntectonic and post-tectonic granitoids (450 to 650 my old). The principal structural features in the region are major transcurrent faults trending N50-70E. The major faults have a divergent character always underlined by the development of associated antithetic joints. - Gravity features where the upper metasedimentary sequences are preferentially preserved between the mesozonal gneissic and migmatitic blocks.

### I - INTRODUÇÃO

#### 1.1 - Objetivo

Este trabalho tem por finalidade o estudo geométrico e cinemático dos grandes falhamentos transcorrentes que são característicos da faixa de dobramento Ribeira do Pré-Cambriano Superior.

O enfoque principal será para os falhamentos de Cubatão, Taxaquara, Além Paraíba e Boquira (fig. 1).

#### 1.2 - Metodologia

Os dados referentes às fraturas foram analisados de acordo com os modelos propostos por Riedel (1929), Emmons (1969) e Wilcox et al. (1973).

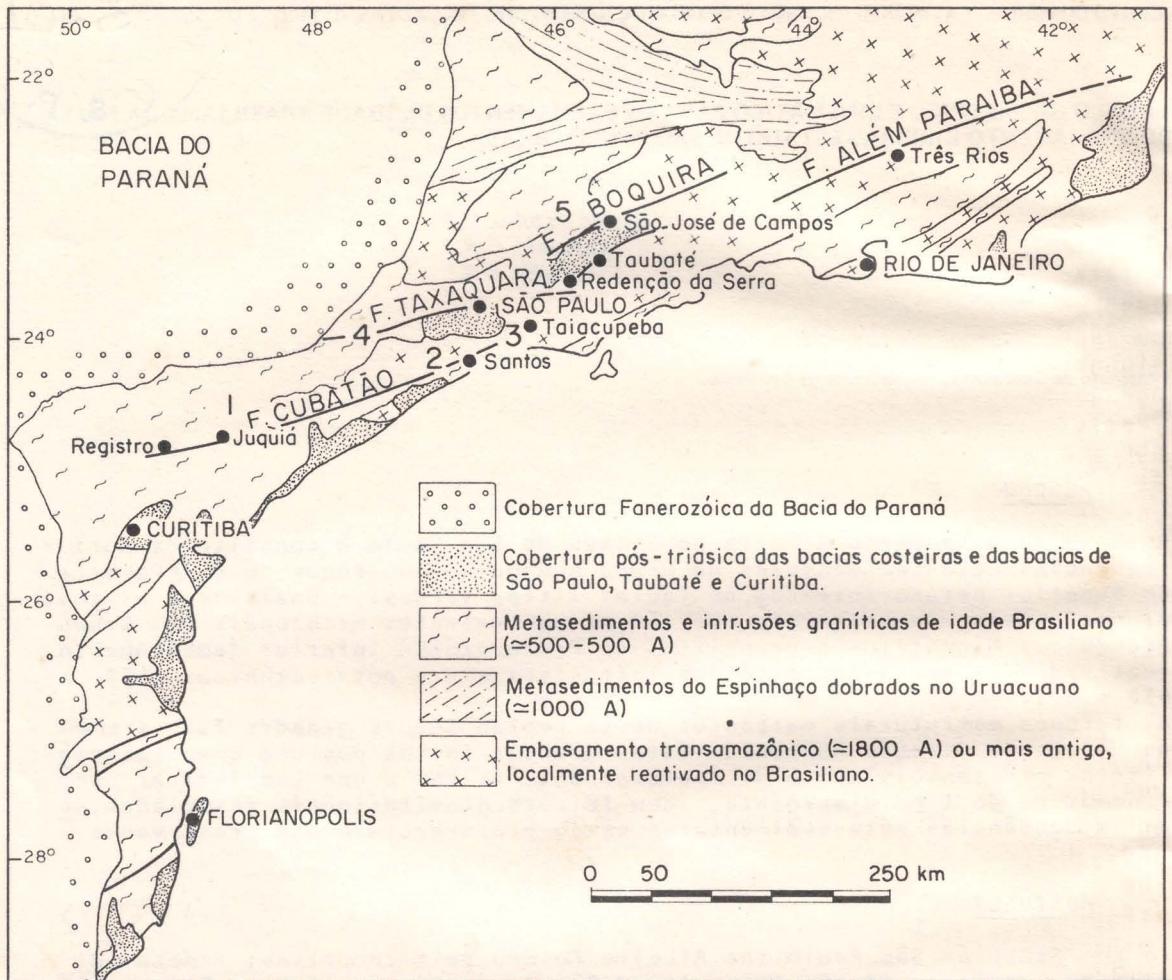


Fig.1 MAPA REGIONAL DA FAIXA DE DOBRAMENTO RIBEIRA COM OS GRANDES FALHAMENTOS TRANSCORRENTES.

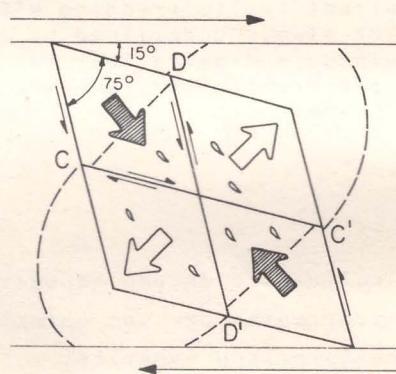


Fig.2 - SISTEMAS DE JUNTAS ASSOCIADAS ÀS GRANDES TRANSCORRÊNCIAS.

A geometria das fraturas associadas a estas zonas de falhas, permitirá que se faça uma análise da cinemática destas grandes faixas cataclásticas. As grandes zonas de transcorrência estão associadas a formação de dois conjuntos de fraturas, (fig. 2), as juntas D-D', que fazem um ângulo ao redor de  $75^{\circ}$  com a zona principal de transcorrência, e as fraturas C-C' ( $15^{\circ}$ ).

Wilcox et al. (1973) observaram que as fraturas que fazem um ângulo baixo com a zona de falha, possuem o mesmo sentido de deslocamento da zona transcorrente, estas foram denominadas fraturas sintéticas. Em contraposição, o conjunto de microfalhas que fazem um alto ângulo com a zona da falha, possui um deslocamento no sentido oposto ao da transcorrência, estas foram denominadas fraturas antitéticas.

Emmons (1969) estudou os padrões de falhamentos transcorrentes em modelos de areia e concluiu que a formação de falhas normais e reversas, dentro do padrão de transcorrência, é um fato muito importante, pois, na realidade pode-se ter falsas imagens de fenômenos locais quando não inter-relacionados com os fenômenos regionais.

Quando a cinemática do falhamento é do tipo compressiva ou convergente, isto é, o sentido do deslocamento entre os dois blocos separados pela falha é de se aproximar um em relação ao outro, as estruturas a ele relacionadas são do tipo compressivas; principalmente dobras e fraturas conjugadas com o predomínio do tipo sintética; chegando a formação de falhas de em purrão nos casos de convergência mais acentuada.

Os fenômenos relacionados a distensão geram estruturas de tração, originando falhamentos normais, pequenos "grabens" e as fraturas tem tendênci a se desenvolver com um alto ângulo em relação a transcorrência, isto é, formação de fraturas antitéticas.

### 1.3 - Aspectos geológicos regionais

A região estudada faz parte da denominada Faixa de Dobramento Ribeira de Idade Brasiliiana (cerca de 600 m.a.) (Almeida et al., 1973; Hasui Y. e Sadowski, G.R., 1976) e comprehende (fig. 1):

- uma seqüência metassedimentos que constituem os Grupos Açuengui e São Roque do Proterozóico Superior, que foram metamorfoizados no Fácies xistos-verdes.
- Gnaisses e xistas, alguns deles migmatizados, estes seriam os equivalentes mesozonais do Grupo Açuengui.
- Migmatitos e granulitos do Proterozóico Inferior que constituiriam o em basamento reativado.
- Rochas granítoides intrusivas sin e pós-tectônicas (450 a 650 m.a.).

Do ponto de vista estrutural as falhas transcorrentes levam a justaposição blocos cuja geologia é frequentemente muito diferente, estes são elementos fundamentais da geologia desta parte da faixa Ribeira.



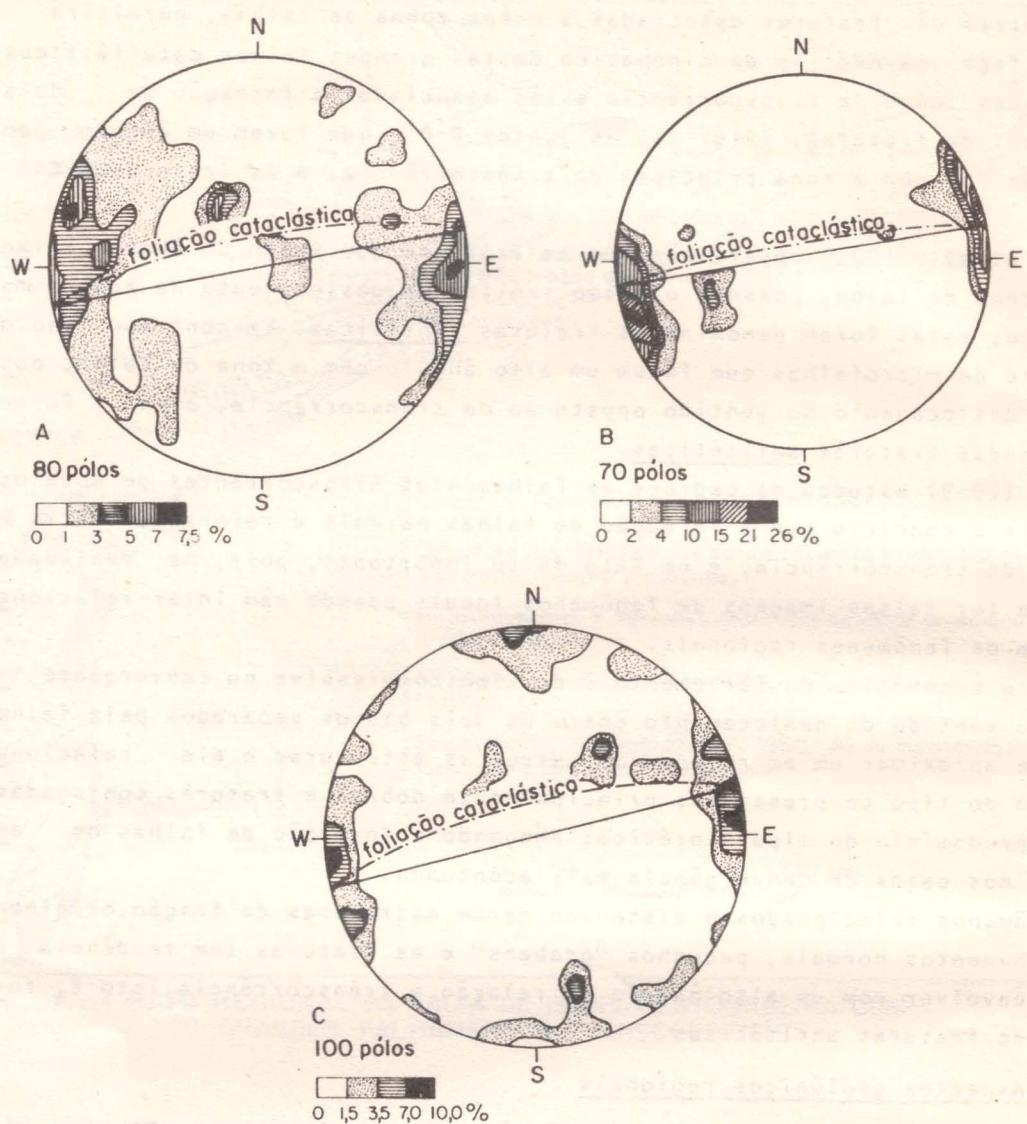


Fig. 3-SISTEMA DE FRATURAS ASSOCIADAS AO FALHAMENTO DO CUBATÃO NA REGIÃO DE JUQUIÁ.  
(Egydio da Silva, 1981)

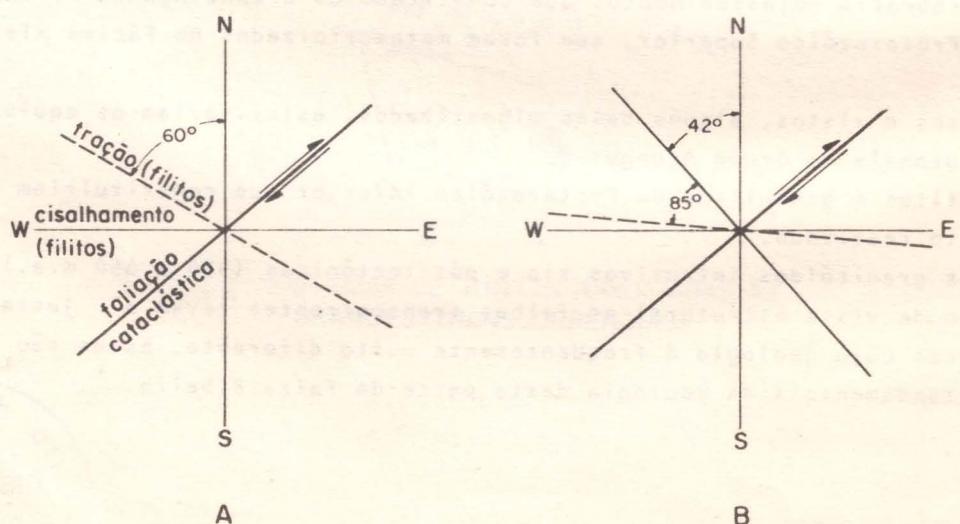


Fig. 4-SISTEMAS DE FRATURAS ASSOCIADOS AO FALHAMENTO DO CUBATÃO NA SERRA DO CUBATÃO

## II - ANÁLISE DAS GRANDES TRANSCORRENCIAS

### 2.1 - O Falhamento de Cubatão

Este grande falhamento transcorrente dextral se estende desde a região de Registro e se prolonga até Redenção da Serra, no Estado de São Paulo (fig. 1), neste local junta-se ao falhamento de Taxaquara (Hasui et al., 1977). Almeida (1953) foi quem realizou o primeiro trabalho específico, baseado em dados geológicos acerca do extenso falhamento. Coutinho (1971) fez um estudo petrográfico deste falhamento e tentou integrá-lo regionalmente, procurando verificar sua extensão, levantando secções transversais ao longo do Pré-Cambriano do Estado de São Paulo. Rideg (1974) estudou a região a nordeste de Santos e mostrou os diferentes tipos de rochas que ocorrem dentro da zona de cataclase, entre esses tem-se xistos quartzosos, quartzitos, anfibolitos e gnaisses cataclásticos. Sadowski (1974) estudou o falhamento nos arredores de Santos e cita que esta falha apresenta feições de cavalgamento além das de transcorrência. Egydio da Silva (1981) fez uma análise estrutural dos metassedimentos encaixados dentro da faixa cataclástica e tentou elaborar um estudo sobre a cinemática e geometria desse falhamento.

Pode-se constatar que esta grande feição estrutural é de grande interesse para o entendimento do Pré-Cambriano da faixa Ribeira, razão pela qual vem sendo estudada por vários pesquisadores por quase trinta anos.

Fez-se uma descrição das estruturas disruptivas associadas ao falhamento de Cubatão em três regiões distintas: primeiramente na região de Juquiá (1, fig. 1), em segundo lugar na região a oeste de Santos (2, fig. 1) e finalmente na região a nordeste de Santos (3, fig. 1).

#### 2.1.1 - Estruturas disruptivas - Região de Juquiá (1, fig. 1)

Três domínios de aproximadamente  $2 \text{ km}^2$ , distantes de alguns quilômetros, foram escolhidos para estudos de detalhes (Egydio da Silva, 1981). Estes domínios foram considerados homogêneos. Aplicou-se o termo domínio homogêneo, para observações feitas em uma determinada escala. Foram considerados em relação a litologia, xistosidade e fraturas.

O estereograma A (fig. 3) mostra um sistema de fraturas, praticamente norte-sul ou N10E/subvertical, que faz um ângulo ao redor de  $75^\circ$ - $80^\circ$  com a foliação cataclástica de atitude N85E/60NW. Observa-se que predomina o sistema das fraturas antitéticas.

O estereograma B (fig. 3), com 70 polos de juntas medidas em típicos milonitos, mostra um sistema predominante com atitude N20W/vertical, que faz um ângulo de aproximadamente  $80^\circ$  com a foliação cataclástica. Verificou-se, durante os trabalhos de campo, que as fraturas com direções N10E, N20W e N6E, isto é, o grupo das fraturas antitéticas, deslocam a foliação regional segundo pequenos rejeitos sinistrais, o que se encaixa perfeitamente para um sistema de transcorrência dextral, como de fato foi constatado na zona de cataclase do Cubatão ao se observar a geometria dos planos de falhas estriados.

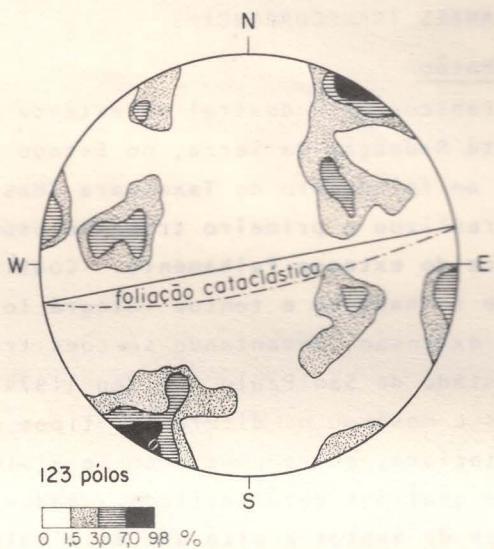


Fig. 5 - SISTEMA DE FRATURAS ASSOCIADAS AO FALHAMENTO DE CUBATÃO NA SERRA DO CUBATÃO.  
(Egydio da Silva - inédito)

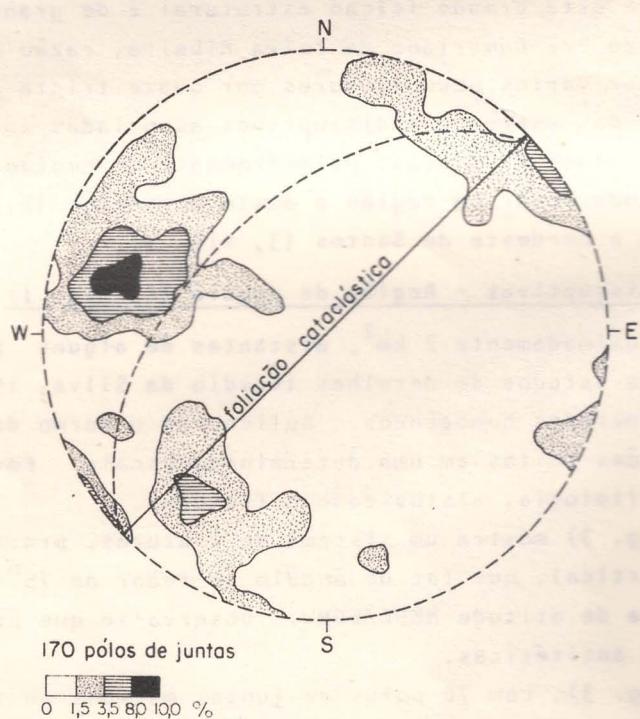


Fig. 6 - SISTEMA DE FRATURAS ASSOCIADAS AO FALHAMENTO DE CUBATÃO NA REGIÃO DE TAIAÇUPEBA.

O estereograma C (fig. 3) é semelhante aos diagramas anteriores. Tem-se um sistema de atitude N10W/vertical predominante, que faz um ângulo de 85° com a foliação cataclástica. Este estereograma apresenta um outro sistema de fratura, menos frequente que o primeiro, que tem como atitude E-W/subvertical. O ângulo que estas juntas fazem com a foliação cataclástica é ao redor de 10°-20°. Este diagrama ilustra o desenvolvimento do sistema conjugado de fraturas, as antitéticas predominantes e as sintéticas menos frequentes.

#### 2.1.2 - Região da Serra do Cubatão (2, fig. 1)

Nesta região Sadowski (1974) e Egydio da Silva (inédito) estudaram quatro domínios distintos, de alguns quilômetros quadrados. Sadowski (1974) chamou atenção para dois sistemas de fraturas marcantes com atitude N60W subvertical e E-W/vertical (A, fig. 4). Num domínio distante de poucos quilômetros os sistemas de fraturas medidas foram aproximadamente N42W/vertical e N85W/vertical (B, fig. 4).

Egydio da Silva (inédito) usando 123 polos de juntas, tomadas dentro da faixa rúptil do Cubatão, mostrou a existência de dois sistemas predominantes, um de direção N60W e outro N10E, ambos verticais (A, fig. 5). Consta-se no campo que o conjunto de direção N60W trata-se de juntas de cislamento com movimentação dextral.

Concluindo, de maneira similar ao observado para a região de Juquiá, os diagramas das figuras 4 e 5 mostram que, também para a região de Cubatão, prevalecem os sistemas de juntas antitéticas, isto é, aquelas que fazem um alto ângulo com a foliação cataclástica, confirmando a movimentação dextral da falha do Cubatão na região de Santos.

#### 2.1.3 - Região de Taiaçupeba (3, fig. 1)

Para a região de Taiaçupeba plotou-se os dados referentes a 170 polos de fraturas e observou-se que as juntas associadas ao falhamento apresentam três máximos (fig. 6), o de maior frequência tem atitude N16E/70SE, outro de atitude N36W/vertical e finalmente o terceiro com atitude N50W/60NE. Nesta região constatou-se que a distribuição estatística das fraturas mostrou, excepcionalmente, que as juntas sintéticas predominam sobre as antitéticas, isto pode indicar uma mudança na cinemática do falhamento do Cubatão em relação a porção sul.

#### 2.2 - O Falhamento de Taxaquara (4, fig. 1)

Hennies et al. (1967) foram os primeiros a elaborarem um trabalho detalhado sobre o falhamento transcorrente de Taxaquara. Trata-se de uma grande estrutura disruptiva de direção aproximadamente N70E, com quase 150 km de extensão observada, que confronta dois blocos de constituição litológica

e estruturas distintas.

Hasui (1973) estudou esta falha no Estado de São Paulo (4, fig. 1) dando a análise estrutural de pequenos domínios. Em dois destes domínios, aonde os resultados são os mais representativos, os sistemas principais têm atitudes N38W/vertical e N43W/85SW, sendo que a foliação cataclástica tem atitude de N70E/70NW e N50E/82NW conforme o domínio considerado. Estes resultados mostram um nítido predomínio de fraturas antitéticas, como observado para o falhamento de Cubatão.

### 2.3 - O Falhamento de Boquira (5, fig. 1)

Carneiro (1977) estudou o falhamento de Boquira na região de São José dos Campos (5, fig. 1) mostrando que o rejeito e o sentido de movimentação não puderam ser observados diretamente no campo, entretanto, sugere um deslocamento dextral.

Carneiro (1977) delimitou áreas homogêneas, ao longo da zona de falha, para a determinação dos padrões de orientação preferencial das juntas. Ele obteve em todas as áreas sistemas de juntas subverticais, sendo que o de maior frequência sempre subperpendicular à foliação. Foram consideradas apenas as juntas de mergulho subverticais, pois provavelmente, estas estavam associadas a cataclase, que possui foliação também com alto ângulo de mergulho. Considerou-se os esquemas referentes a três áreas, escolhidas entre as estudadas por Carneiro (1977).

Os diagramas relativos a estas áreas (fig. 7) mostram os sistemas de fraturas predominantes os quais sempre fazem um alto ângulo com a foliação cataclástica. Não se tem dados sobre o sentido do deslocamento destas juntas, entretanto, pela sua distribuição em relação a foliação cataclástica elas podem ser interpretadas como fraturas antitéticas. Isto significa atribuir a esta falha, na região de São José dos Campos, um movimento sinistral, contrariamente a hipótese proposta por Carneiro (1977).

### 2.4 - O FALHAMENTO DO ALEM PARÁIBA

Almeida et al. (1975) identificaram e descreveram o Lineamento do Além Paraíba que corresponde a uma grande falha transcorrente dextral, de rejeito desconhecido, bem atestada pela deflexão das estruturas dobradas dos blocos adjacentes.

A história deste acidente é mal conhecida. Campanha (1980) estudando a região de Três Rios (RJ) observou que as rochas do fácies granulito, de idade provavelmente arqueana, se apresentavam como blastomilonitos, e que estes sofreram uma deformação intensa e retrometamorfismo durante o Ciclo Brasiliano.

A partir dos diagramas de fraturas de Campanha (1980), observa-se (fig. 8) que predominam as juntas quase paralelas ao falhamento principal. Estas juntas podem representar ou juntas sintéticas fazendo um ângulo baixo com a foliação cataclástica (atitude N60E/vertical) ou pequenas falhas "filhas" da falha principal. Subordinadamente têm-se dois sistemas subverticais N08E e N15W. Pela sua disposição em relação à foliação cataclástica, es-

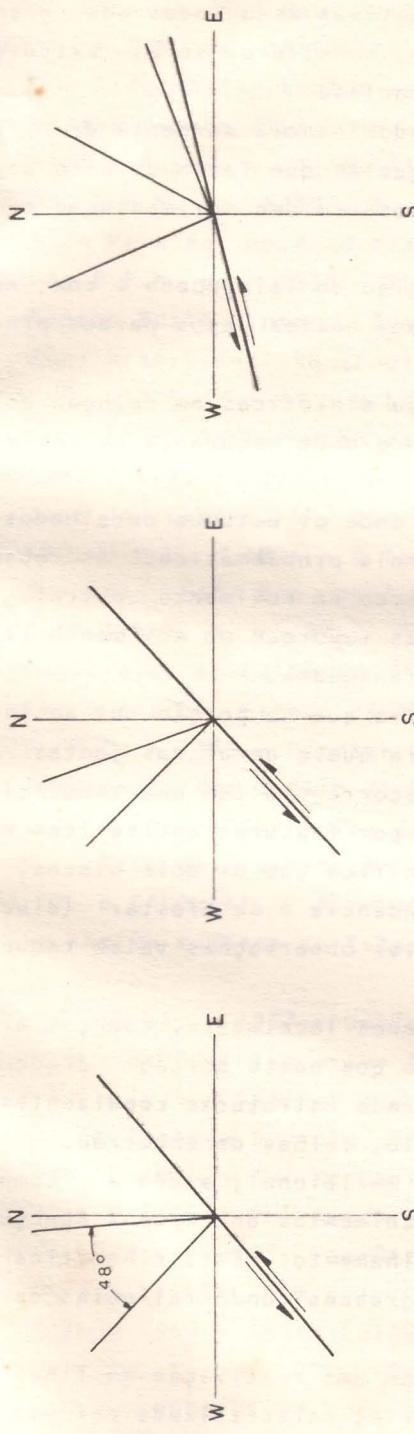


Fig. 7-SISTEMA DE FRATURAS ASSOCIADOS AO FALHAMENTO DE BOQUIRA - REGIÃO DE SÃO JOSÉ DOS CAMPOS.  
(Carneiro, 1977)

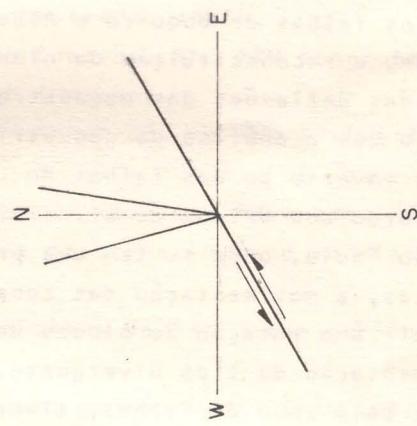


Fig. 8-SISTEMA DE FRATURAS ASSOCIADOS AO FALHAMENTO DO ALÉM PARAÍBA-REGIÃO TRÊS RIOS (RJ).  
(Campanha, 1980)

tes dois grupos de juntas podem ser do tipo antitéticas e indicam um deslocamento sinistral, oposto às conclusões deduzidas da deflexão das megaestruturas.

### III - CONCLUSÕES

No estudo realizado sobre as feições disruptivas associadas aos grandes falhamentos da faixa de dobramento Ribeira, considerou-se as estruturas de segunda ordem agregadas às zonas de cataclase.

Em quase todos os casos constatou-se a predominância marcante de fraturas ou microfalhas antitéticas, isto é, aquelas que fazem um alto ângulo com a direção da foliação cataclástica e possuem uma movimentação contrária ao da zona de falha principal.

Exceto para o falhamento do Cubatão na região de Taiaçupeba e com menos segurança para o Falhamento de Além Paraíba; nestes casos parece predominar as fraturas sintéticas.

A disposição destas juntas antitéticas e/ou sintéticas em relação ao falhamento de Cubatão e Taxaquara indica com grande segurança um movimento dextral.

Para as falhas de Boquira e Além Paraíba, onde os estudos detalhados são poucos, a reconstituição da cinemática é mais problemática. As observações das deflexões das megaestruturas sugerem um movimento dextral enquanto que a análise da geometria de juntas favorece um movimento sinistral; inverso ao das falhas de Cubatão e Taxaquara.

De acordo com Wilcox et al. (1973) significa que na porção sul do Estado de São Paulo, onde se tem uma predominância quase geral das juntas antitéticas, a movimentação das zonas de transcorrência tem uma tendência a induzir uma rotação de blocos delimitados por fraturas antitéticas e uma movimentação do tipo divergente, isto significa que os dois blocos, separados pela zona de falhas, tiveram uma tendência a se afastar (divergência) quando da movimentação tectônica, estas observações valem também para a falha do Boquira.

Para o falhamento do Além Paraíba, pelo menos localmente, começam a preponderar as fraturas sintéticas, indicando que neste porção predominou uma tectônica compressiva, podendo ter gerado estruturas condizentes com este tipo de movimentação, como por exemplo, falhas de empurrão.

Este modelo, principalmente para a porção meridional, ajuda a compreender a conservação preferencial dos metassedimentos dos Grupos Açuengui e São Roque ao longo dos corredores de cisalhamento. Esta cinemática divergente favorece a individualização de "grabens" onde relíquias da cobertura metassedimentar foram preservadas.

Estas grandes falhas transcorrentes tiveram uma reativação no final do Terciário que se estendeu até ao Quaternário, caracterizada por uma movimentação do tipo gravitacional que induziu a formação de "grabens" onde se formaram as bacias sedimentares, essencialmente continentais, de São Paulo e Taubaté.

Esta reativação está ligada ao levantamento concomitante da zona costeira entre Curitiba e Rio de Janeiro (Almeida, 1976, Suguió, 1969).

#### BIBLIOGRAFIA

- ALMEIDA, F.F.M. de - 1953 - Considerações sobre a geomorfogênese da Serra do Cubatão. Bol. Paul. Geogr., Vol. 15, p. 3-17, São Paulo.
- ALMEIDA, F.F.M. de; AMARAL, G.; CORDANI, U.G. e KAWASHITA, K. - 1973 - The Precambrian Evolution of the South American Cratonic Margin South of the Amazon River. In: The Ocean basins and margins, New York Plenum Publ., v. 1, p. 411-446.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. - 1975 - Lineamento de Além Paraíba. An. Acad. Bras. Ciênc., 47 (3/4): 575, Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1976 - The system of continental rifts bordering the Santos Basin. Intern. Symp. on Cont. Margins of Atlantic Type. An. Acad. Bras. Ciênc. 48 (Supl.): 15-26, Rio de Janeiro.
- CAMPANHA, G.A.C. - 1980 - O Lineamento de Além Paraíba na área de Três Rios (RJ). Dissertação de Mestrado, IGUSP.
- CARNEIRO, C.D.R. - 1977 - Geologia e Evolução Geológica da Folha de São José dos Campos, SP. Dissertação de Mestrado, IGUSP.
- COUTINHO, J.M.V. - 1971 - O falhamento de Cubatão. In: XXV Congr. Bras. Geologia, Bol. Esp. nº 1, p. 130-131 (resumo).
- EGYDIO DA SILVA, M. - 1981 - Análise Estrutural das Faixas Ectiníticas Associadas ao Falhamento de Cubatão entre as regiões de Juquiá e Pedro Barros, Estado de São Paulo. Dissertação de Mestrado, IGUSP.
- EMMONS, R.C. - 1969 - "Strike-slip" rupture patterns in sand models. Tectonophysics 8 (1): 71-87.
- HASUI, Y. - 1973 - Tectônica da área das Folhas de São Roque e Pilar do Sul. Tese de Livre-Docência, IGUSP.
- HASUI, Y. e SADOWSKI, G.R. - 1976 - Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. Rev. Bras. Geoc., v.6, nº3, setembro.
- HASUI, Y. et al. - 1978 - Geologia da Região Administrativa 3 e parte da Região Administrativa 2 - Monografias, IPT.
- RIDEG, P. - 1974 - Geology and structure of a portion of the Serra do Mar in Eastern S.Paulo, Brazil. Ph.D.Thesis. State Univ.of New York.
- RIEDEL, W. - 1929 - Zur Mechanik geologischer Brucherscheinungen Centralblatt Min. Geol. Pol.-Abt.B, 354-369.
- SADOWSKI, G.R. - 1974 - Tectônica da Serra do Cubatão, SP. Tese de Doutoramento, IGUSP, 159 p.
- SUGUIÓ, K. - 1969 - Contribuição à geologia da Bacia de Taubaté. Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letras, USP, número especial.
- WILCOX, R.E.; HORDING, T.P. e SEELY, D.R. - 1973 - Basic wrench tectonics. The Am.Assoc.Petrol.Geol.Bull. vol. 57, nº 1 (jan.) p. 74-96.

