

**Reconhecimento de Figuras de Interferência Geradas pela  
Supersposição de Dobras Flexurais na Região do Vale do Paraíba  
do Sul (SP) com a Utilização de Sensoriamento Remoto**

PAULO VENEZIANI  
CÉLIO EUSTÁQUIO DOS ANJOS  
FLÁVIA MARIA DE FÁTIMA NASCIMENTO  
PEDRO ALBERTO BIGNELLI  
RICARDO RIBEIRO DIAS

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

Caixa Postal 515  
12.201-970 - São José dos Campos, SP, Brasil

**Abstract.** The interpretation of remote sensing imagery carried out to search some circular structures observed on the region of Paraíba do Sul Valley, SP, Brazil. This region is set in the São Paulo Shear Belt which consists in a expressive transcurrent fault zone of the Southeast Folded Belt. In the studied area can be found tertiary sediments of the Taubaté Basin, sin-tardi- to post-tectonic migmatitic and granitic rocks of Upper Pre-Cambrian age and also metasedimentary rocks of Middle to Inferior Pre-Cambrian age. The Pre-Cambrian rocks were remobilized in Upper Pre-Cambrian thermal tectonic events. This remobilization is the principal evidence of polycyclism and polimetamorphism of the studied region. The polycyclic and polimetamorphic evolution indicates that distensive as much as compressive events caused deformations ranging from microscopic to regional scales. The remote sensing imagery registered some structural features representative of ductile, ruptile-ductile, and ruptile deformations that show the development of a process of single shear on the studied area, during Middle to Upper Pre-Cambrian age. At the end of Pre-Cambrian period the studied area was submitted to distensive efforts responsible for the reactivation of ancient crustal lines of weakness oriented according to NNW-SSE and ENE-WSW. This process had been continuous till Mesozoic to Cenozoic periods and generated flexural folds with perpendicular axes, which are recognizable on the remote sensing imagery as structural highs and lows. These structures resulted from the interference of two flexural folding patterns.

**Introdução**

A área estudada englobou as folhas de Taubaté, Paraíba, São Luiz do Paraitinga e

Natividade da Serra na escala de 1:100.000. Tal área insere-se na Faixa de Cisalhamento São Paulo que consiste em um feixe de transcorrências expressivo, da região de dobramentos sudeste, estendendo-se na di-

reção NE-SW de Juiz de Fora (MG) até Itu, Castro e Campo Largo (SP). Do ponto de vista litoestratigráfico, verificou-se a ocorrência dos sedimentos terciários da Bacia de Taubaté, rochas do pré-Cambriano Superior granítico-migmatíticas sin-tardi a pós tectônicas além de metassedimentos do pré-Cambriano Inferior a Médio retrabalhadas no ciclo Brasileiro. Tal retrabalhamento (termo-tectônico) constituiu-se na principal evidência de policiclismo da região. A evolução policíclica da região torna clara a complexidade estrutural da área estudada e permite afirmar que eventos ora distensivos ora compressivos deram origem à deformações diversas, registradas tanto em escala de afloramentos (ou microscópicas) até regional. De um modo geral verificou-se estruturas que tipificam um fenômeno de deformação progressiva. Originaram-se a partir de uma fase de tectonismo tangencial posteriormente superimposta por uma vertical, que deu origem às transcorrências e, verticalizou quase que a totalidade das estruturas geradas na fase anterior. Evidências de movimentos verticais distensivos são bastante claras, principalmente ao longo das direções ENE a EW (coincidentes com aquelas das transcorrências) e NNW a NS. Foram identificados a partir do reconhecimento de conjuntos de zonas de juntas que refletem a propagação na vertical, de movimentos ao longo de descontinuidades profundas. Estes movimentos foram responsáveis pela ondulação de todo o conjunto de corpos litológicos que ocorrem na região, segundo eixos ENE, EW e NNW a NS.

## Metodologia

Anais do VII SBSR, 1993

Através da interpretação de imagem TM Landsat, banda 4 na escala de 1:100.000 foram gerados os seguintes mapas:

1. Mapa da rede de drenagem - este mapa resultou da complementação da rede contida nas folhas topográficas de escala de 1:50.000 (reduzidas para 1:100.000) a partir da inclusão de dados obtidos na imagem TM;
2. Mapa de lineamentos estruturais - foi obtido a partir da interpretação regional da imagem com o intuito de se obter os lineamentos que transcendiam a área de estudo. Isto é, delineou-se as principais descontinuidades da região para reconhecer os controles tectônicos-litoestruturais da área estudada;
3. Mapa morfoestrutural - elaborou-se um mapa baseado na interpretação das assimetrias de relevo e drenagem somada àquela resultante dos lineamentos estruturais que mostrou o controle tectônico-litoestrutural da região;
4. Mapa litológico - foi obtido através da fotointerpretação da imagem TM.

Após a fase de interpretação foram feitos trabalhos de campo. Atualmente cerca de 50% da área foi avaliada em uma malha de pontos distantes entre si de 2,5 km. O restante da área foi visitado a nível de reconhecimento.

## Geologia da Área

Foram reconhecidas na área unidades litoestruturais correlativas ao Complexo Costeiro, Grupo Açungui (Complexo Embu), granitóides e da Bacia de Taubaté, segundo Hasui et al. (1981).

**Complexo Costeiro:** Segundo Hasui et al. (1981) este

complexo é constituído por rochas de fácies anfíbolito a granulito que foram granitizadas e migmatizadas. Tem origem relacionada ao Arqueano embora remobilizações durante o Proterozóico modificaram metamorficamente e estruturalmente e seus litotipos. Na área foram reconhecidos migmatitos homogêneos oftálmicos a sul da falha de Bairro Alto (Figura 1) que por analogia com o trabalho de Hassui (1981) podem ser incluídos no complexo em discussão.

**Grupo Açungui** - Complexo Embu: os litotipos englobados segundo esta denominação foram por analogia com o trabalho de Hassui (1975). Apresentam metamorfismo de fácies xisto verde a, localmente, anfíbolito. Supostamente o grupo em questão apresenta idade de acumulação relativa ao Proterozóico Superior e deformação/metamorfismo ao Ciclo Brasileiro. Os autores deste trabalho, embora não concordem com tais idades pois, é nítido no campo que a região sofreu processos de deformação progressiva que provavelmente estenderam-se desde o Pré Cambriano Médio até o Ordoviciano, na falta de dados conclusivos deixam a questão em aberto. Os principais litotipos reconhecidos no campo foram: micaxistos, quartzitos, calcissilicáticas e paragnaisses (MS1 - Figura 1); quartzo-micaxistos, metagrauvascas, metaarcóseos, xistos feldspáticos, quartzitos, paragnaisses e localmente migmatitos heterogêneos com paleossoma variável (MS2 - Figura 1); quartzo micaxistos (qx); gnaisses e paragnaisses (GN1) e, (?) milonito quartzo xistos (MQX - Figura 1). Estas rochas encontram-se muito frequentemente catacladas e milonitizadas, por vezes po-

dendo ser confundidas com filitos e filonitos a nível de afloramentos. Podem ser reconhecidos ainda protomilonitos, milnitos e até ultramilonitos. Existem ainda duas faixas localizadas a sul das falhas de Cubatão e Natividade, GN2 e GNMig (Figura 1), onde predominam paragnaisses, gnaisses e, migmatitos heterogêneos que por analogia com Hassui et al. (1981) podem pertencer ao Complexo Costeiro. Porém neste trabalho foram englobados provisoriamente no Complexo Embu por apresentarem estilos de formacionais semelhantes aos demais litotipos deste Complexo.

**Granitos Sintectônicos:** granitos foliados e apresentando feições de formaçio nais características do cisalhamento que afetou a região foram observados no campo e delimitados através da interpretação da imagem TM (Figura 1).

**Sedimentos da Bacia de Taubaté:** os sedimentos terciários pertencentes à bacia em questão não foram alvo de estudos do presente trabalho. Limitou-se apenas a traçar o contato dos mesmos com as rochas cristalinas.

**Geologia Estrutural e Tectônica:** ao serem observados os mapas da rede de drenagem (Figura 2) e a imagem TM da região, destacam-se em primeiro plano os grandes alinhamentos de relevo e drenagem segundo as direções ENE-WSW a EW e NS a NNW-SSE. Secundariamente caracteriza-se várias feições "circulares" que quando particularmente analisadas através da rede de drenagem, configuram possivelmente a alternância de altos e baixos estruturais. Com o objetivo de encontrar o significado para

tal estruturação da área elaborou-se um mapa de lineamentos estruturais regionais (parcialmente delineados na Figura 1) procurando-se evidências de movimentos ao longo dos mesmos (arrasto dúctil, deslocamentos, etc) que pudessem caracterizar os movimentos tectônicos. Ao mesmo tempo gerou-se um mapa "morfoestrutural" procurando-se estabelecer o significado das feições representativas das foliações em geral e observáveis na imagem TM e o interrelacionamento destas com os lineamentos/falhamentos. Deste modo procurou-se um significado para as feições "circulares" anteriormente citadas. Como resultado desta fase interpretativa, em termos gerais identificou-se evidências de movimentos destrais ao longo das direções ENE-WSW a EW (Figura 1), dando origem inclusive a prováveis lentes de cisalhamento e movimentos de gravidade, evidentemente de uma fase de reativação posterior. Para as direções de lineamentos NS a NNW a SSE verificou-se evidências de movimentos gravitacionais, não sendo claras as feições que indicassem o comportamento destes lineamentos durante a fase compressiva que gerou as transcorrências acima descritas. Por outro lado, o mapa "morfoestrutural", do qual a Figura 3 é uma reprodução parcial para a região localizada entre Jambuí e Paraibuna, mostrou que as feições "circulares" são reflexos de altos e baixos estruturais com eixos orientados segundo ENE-SSW e NS a NNW-SSE. Tais altos e baixos são bem definidos por padrões de drenagem superimpostos o que de certa forma serve como indicio para, preliminarmente, serem considerados como estruturas do final da fase de

cisalhamento já associadas a movimentos distensivos. De posse do modelo fotointerpretado iniciou-se os levantamentos de campo cujos resultados serão, mostrados de modo bastante simplificado neste trabalho. Observou-se que a área estudada está inserida em uma região que sofreu um processo de deformação progressiva. Tal processo, em seus primórdios, envolveu metamorfismo regional dinamotermal e dobramentos de tipo isoclinal as vezes transpostos com eixos orientados preferencialmente entre N30 a 60E, com planos axiais mergulhando para E-SE isto é, com vergência para N-NW. A continuidade de atuação dos esforços compressivos do processo deformacional progressivo originou o desenvolvimento de transposição, de dobras recumbentes, nappes (?), superfícies de "charriage", falhas inversas e ou de empurrão. Além destas estruturas desenvolveram-se outras ligadas a movimentos transcorrentes destrais principais que verticalizaram as foliações pré existentes e deram origem a lentes de cisalhamento, rotação de minerais "pressure shadows", dobras de arrasto e dobras intrafoliares da foliação milonítico-cataclástica, com eixos verticais e sub-verticais. Finalmente ocorreu a "ondulação" dos corpos litológicos sob a forma de dobramentos flexurais. Estes últimos, ligados a fase final de compressão - início da distensão regional do final do Proterozóico início do Fanerozóico. Os dobramentos flexurais têm seus eixos orientados preferencialmente segundo ENE-WSW a EW, NS a NNW-SSE, são sub horizontais e parecem estar ligados

principalmente a movimentos gravitacionais por reativação de antigas linhas crustais de fraqueza de mesma direção. Tais linhas foram ainda reativadas durante o Cretácio e o Terciário. Esta história descritiva da evolução da área para os tempos Pré-Cambrianos (Médio ?, Superior ?) está muito bem registrada na área estudada por feições de natureza dúctil, rúptil-dúctil e rúptil que permitiram não somente a observação das estruturas acima descritas mas também a identificação de movimentos ora de origem compressiva ora de origem distensiva ao longo dos principais lineamentos/falhas da região.

### Conclusões

A interpretação da imagem TM Landsat em áreas estruturalmente complexas mostrou-se extremamente eficaz pois, permitiu que através da visualização de um modelo de evolução tectônica regional o trabalho de campo fosse otimizado. A partir da interpretação de movimentos destras (em uma determinada fase deformacional) ao longo dos lineamentos ENE-WSW a EW, da observação de contatos tectônicos entre os principais conjuntos litoestruturais, da verticalização de estruturas, da existência de altos e baixos estruturais e outras evidências, foi possível supor um quadro para área que envolvia faixa de dobramentos - zona de cisalhamento - dobramentos flexurais. A partir deste quadro, buscou-se a confirmação no campo através da descrição e medidas de estruturas associadas, ao modelo proposto. Desta forma foi possível comprovar que as feições "circulares" observadas são

figuras de interferência geradas pela superposição de dobras flexurais com eixos orientados segundo ENE-WSW a EW e NS a NNW-SSE, sub horizontais.

### Referências

- Hasuy, Y. Evolução polifásica do pré-Cambriano a oeste de São Paulo. **Boletim do Instituto de Geociências**, 6:95-108, 1975.
- Hasuy, Y. et al. O embasamento pré-Cambriano e o Eopaleozóico em São Paulo. In: Almeida, F.F.M. de et al. **Mapa geológico do Estado de São Paulo: nota explicativa**. IPT, 1981, cap.3, p.12-45. (Monografias, 6; IPT nº 1184).

# MAPA LITOSTRUTURAL SIMPLIFICADO

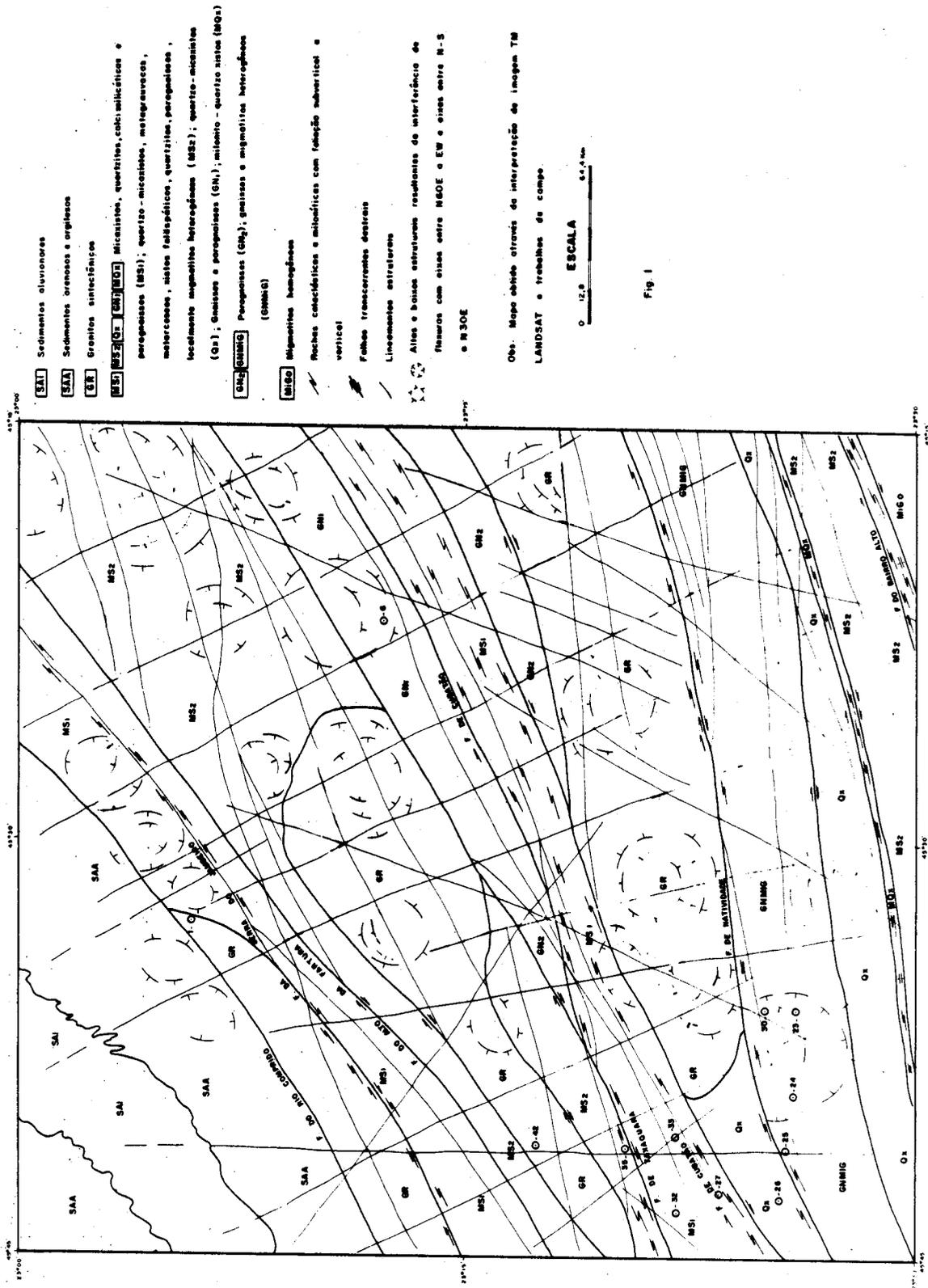


Fig. 1

# MAPA DE REDE DE DRENAGEM

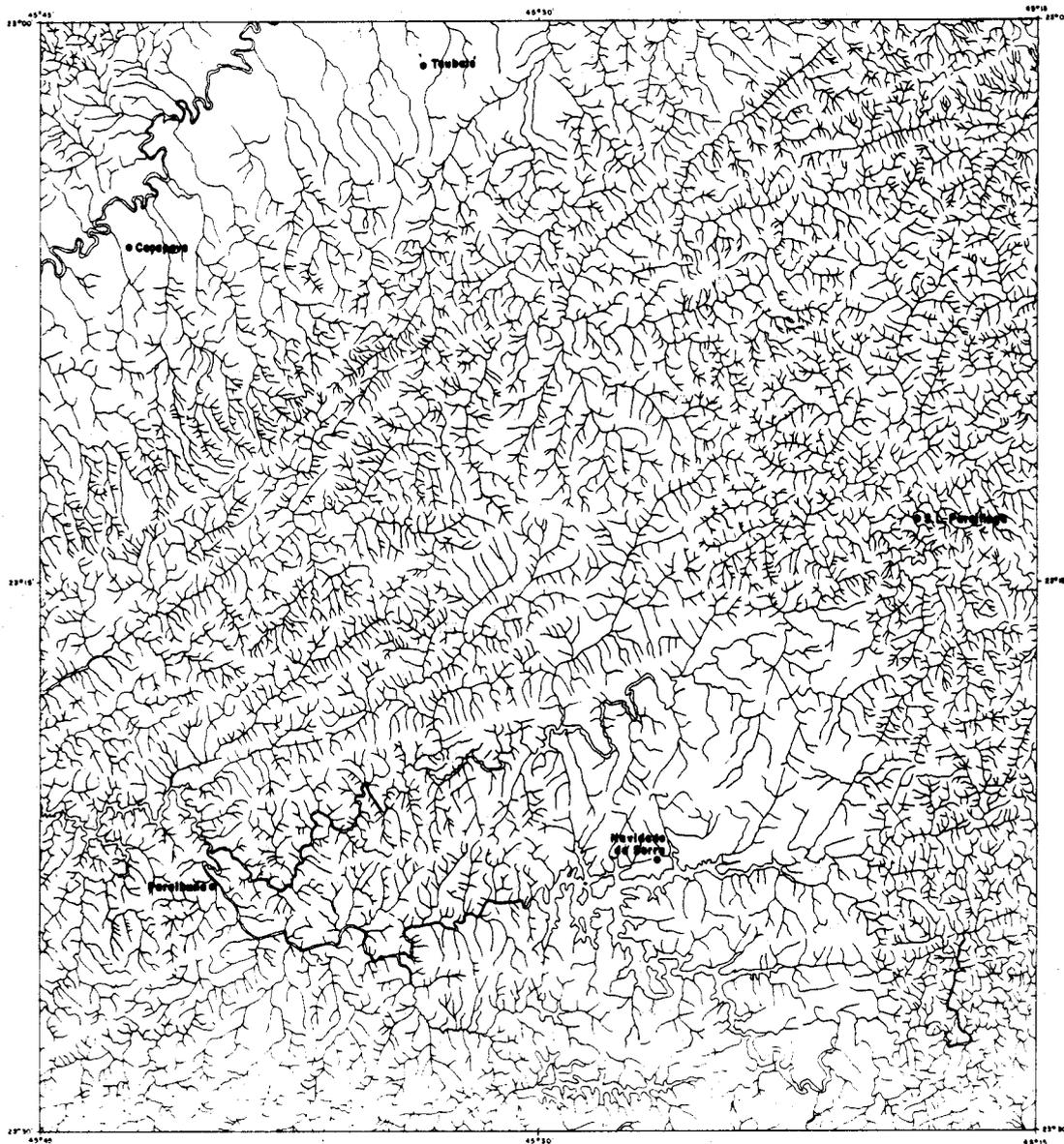


Fig. 2

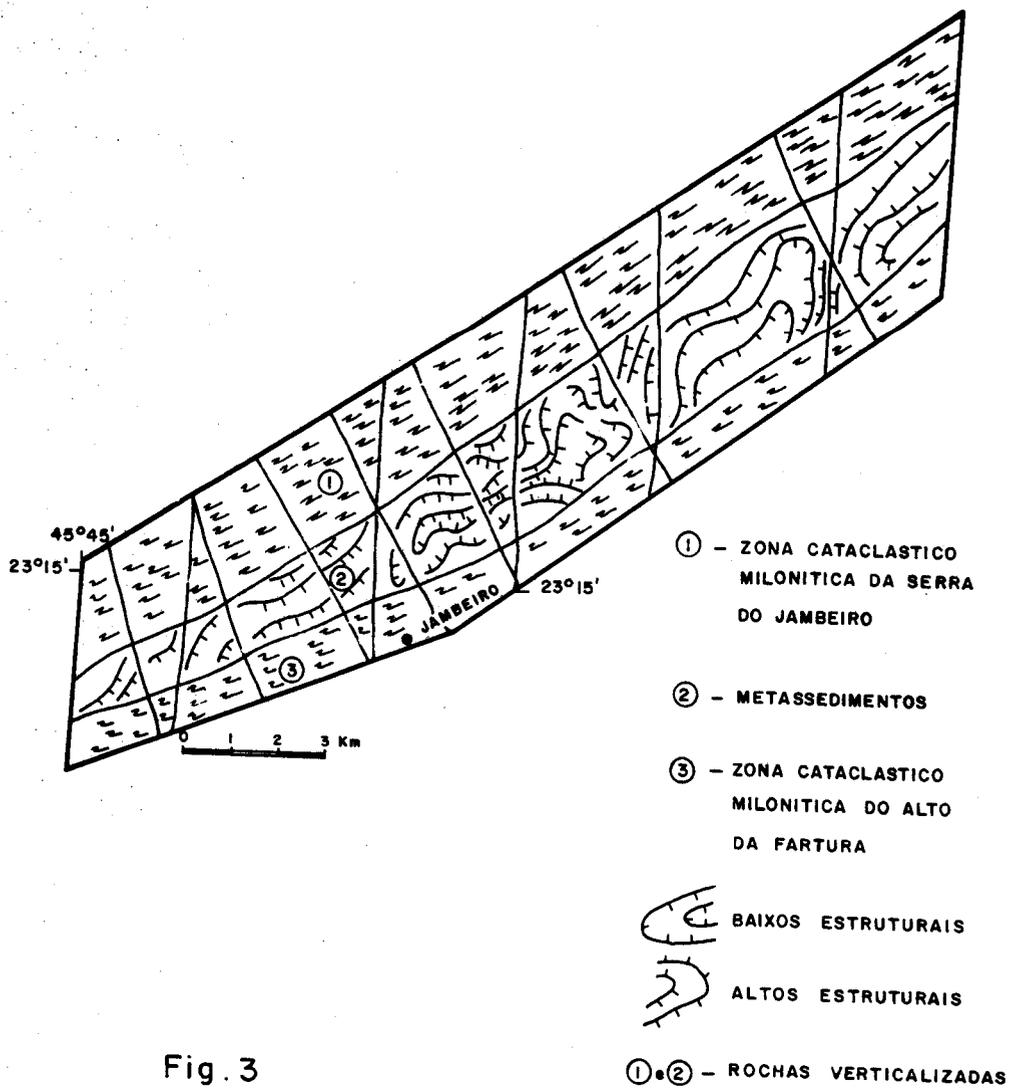


Fig. 3