

CARACTERÍSTICAS ESTRUTURAIS E EVOLUÇÃO TECTÔNICA DO NÚCLEO BETARA A NORTE DE CURITIBA (PR)

Eduardo Salamuni (1)

Alberto Pio Fiori (1)

Eberhard Wernick (2)

(1) Depto. de Geologia da UFPR

(2) Depto. de Petrologia e Metalogenia da UNESP - Rio Claro (SP)

RESUMO

A Formação Betara (superior) e a Formação Meia Lua constituem o que na literatura geológica paranaense é conhecido como Núcleo Betara. O contato entre ambas é tectônico, através de falha de cavalgamento. Essas unidades são compostas de rochas do Proterozóico Inferior a Médio, tendo sofrido deformações cisalhantes de baixo e alto ângulo, em sua maioria de natureza dúctil-rúptil a rúptil-dúctil.

O trabalho tem como objetivo principal modelizar a evolução tectônica local, sem pretender que tal hipótese necessariamente seja extrapolada para outras áreas.

A mudança do regime tectônico é discutida, com base nos elementos geométricos e cinemáticos.

Acredita-se que houve um desencadeamento de pressões tectônicas tangenciais aliviadas por um sistema de cavalgamento, de direção WNW-ESE, denominado de Fn e, posteriormente, por um sistema de transcorrência NE-SW, denominado de Fn+1. Este quadro ligaria a evolução da deformação, no Núcleo Betara, a um único evento tectônico cuja ação poderia ser intermitente ou pulsante, porém progressiva.

O dobramento generalizado teria sido resultado dos cavalgamentos, da transcorrência ou de ambos os eventos, o que é mais provável.

Da mesma forma discute-se o papel de uma possível deformação anterior, denominada de Fn-1, sugerindo-se que a mesma represente a tectônica inicial da área, isto é, uma deformação imediatamente anterior à Fn.

ABSTRACT

The Betara core comprises the upper Betara Formation and the Basal Complex. The contact between them is a tectonic one, through a thrust fault. These units comprise rocks of the Lower and Medium Proterozoic, which show low and high angle shearing stress deformation, mainly ductile-brittle to brittle-ductile.

The research work aims mainly to a search of a model of local tectonic evolution, without the pretension that such model may be applied eventually to other areas.

The change of the tectonic regime is also discussed, based on geometric and cinematic elements.

It is believed that a succession of tangential tectonic pressures occurred, released by a thrust system, trending WNW-ESE, called Fn and later on by a strike-slip system NE-SW, designated Fn+1. This picture would link the evolution of the deformation to only one tectonic event action which could be intermittent or pulsating, but certainly progressive.

The generalized folding would be the result of the thrusts as well as of the strike-slip movements, or both the events, what is more probable.

At the same time the action of a possible former deformation, named Fn-1 is discussed, with the suggestion that it represents the beginning of the above mentioned tectonic context, i.e., an early tectonic deformation of the event.

1. INTRODUÇÃO

O Núcleo Betara, também conhecido como Antiforma do Betara, cuja localização pode ser observada na Figura 1, é constituído, de acordo com POPP et al. (1979) pela Formação Betara (superior), composta por rochas metavulcânicas (metatraquitos), metassedimentos terrígenos e clasto-químicos (metargilitos, mármore e quartzitos) e pelo Complexo Meia Lua (basal), composto por uma imbricação tectônica de paragneisses, xistos, quartzitos e rochas granitóides do embasamento retrabalhado. A primeira está sobreposta à segunda através de falha de cavalgamento denominada de Falha do Betara (FIORI, 1991 e 1992) (Fig. 2).

Outra denominação estratigráfica foi sugerida por PIEKARZ (1981 e 1984), que utilizou respectivamente as denominações de Formação Perau e Formação Pré-Setuva, respectivamente para as unidades superior e inferior presentes no Núcleo Betara.



Fonte:

Instituto de Terras, Cartografia e Florestas - PARANÁ • 1990

Fig. 1: Mapa de situação geográfica da área trabalhada e vias de acesso.

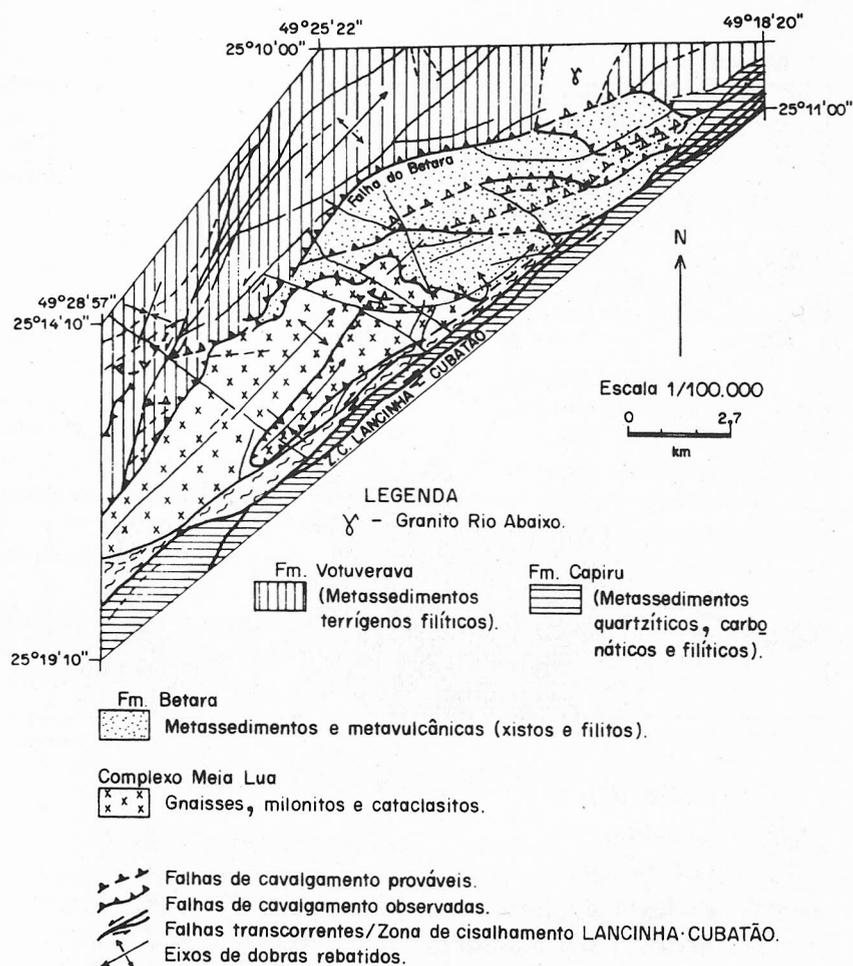


Fig. 2: Esboço geológico e tectônico da região do Núcleo Betara.

Neste trabalho mantém-se as denominações de Formação Betara e Complexo Meia Lua. A preferência pela utilização desta nomenclatura ao invés de "Formação Perau" deve-se ao fato de que não há continuidade geográfica entre esta unidade e o Núcleo Betara. Prefere-se aguardar dados mais conclusivos que comprovem a correlação entre os referidos núcleos (SALAMUNI, 1991)

A hierarquia de "Complexo" é aplicada aos pacotes tectonizados (ou às tectonofácies) que se constituem o embasamento da Formação Betara, ou seja o Complexo Meia Lua. Desta forma o nome "Pré-Setuva" é eliminado, tanto por não coincidir geograficamente com os tectonitos designados informalmente por EBERT (1971), quanto por não apresentar um significado estratigráfico claro. Em adição salienta-se que a denominação "Pré-Setuva", em si, carece de significação estratigráfica objetiva e portanto não deveria ser mais utilizada na literatura.

A área do Núcleo Betara foi submetida a pelo menos três regimes de deformação, sendo o primeiro caracterizado por um cisalhamento não-coaxial de baixo ângulo, dúctil a dúctil-rúptil, produzindo cavalgamentos com geometria em duplex (F_n). O segundo (F_n') é representado por dobramentos anticlinoriais não-simétricos evoluindo para dobras, cujo flanco é inverso e o terceiro (F_{n+1}) por cisalhamento de alto ângulo, dúctil-rúptil a rúptil, responsável pelas zonas transcorrentes.

Há diferença entre o metamorfismo das duas formações que compõem o Núcleo. Na Fm. Meia Lua chegou ao fácies anfibolito (zona da estauroлита) com retrometamorfismo ao fácies xisto verde (zona da clorita), ao passo que nas rochas da Fm. Betara o metamorfismo chegou apenas ao fácies xisto verde (zona da clorita) (SCHOOL, 1981).

2. QUALIFICAÇÃO DAS ESTRUTURAS OBSERVADAS

a. Estruturas Sedimentares ou Superfície Original - S_0

Como já anotado por PIEKARZ (1981), há preservação de estruturas sedimentares e/ou vulcanogênicas relictas. Estas estruturas encontram-se pouco perturbadas nos locais onde as deformações superimpostas, em função da heterogeneidade que as caracterizam, foram pouco intensas. Isso é observado principalmente nas metavulcânicas e metassedimentos da Formação Betara.

Estas superfícies (S_0) são caracterizadas pela ocorrência de estratificação plano-paralela e cruzada, além de granodecrescência

("fining up") e bandamento composicional rítmico. No caso das metavulcânicas há preservação da textura vesicular.

A direção média destas superfícies é NE-SW, aproximadamente paralelas à superfície S_n . O ponto de melhor preservação é uma saibreira a sudoeste do recém criado município de Itaperussu.

Neste local, as estruturas apresentam topo invertido (Foto 1) com os planos da estratificação cruzada mergulhando para NW, que junto a outras evidências, mostra que o flanco sudeste da Antiforma do Betara está invertido.

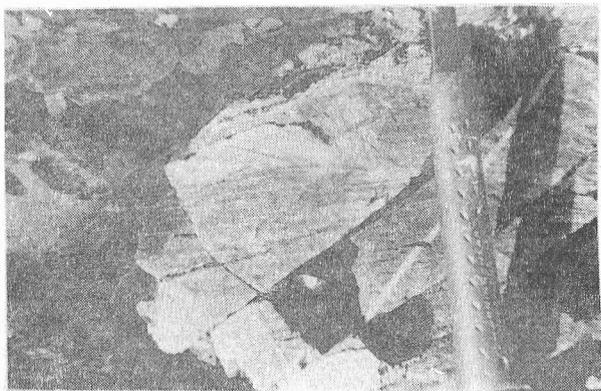


FOTO 1: Quartzito basal da Formação Betara, mostrando estratificação cruzada. Este afloramento indica inversão do topo da camada. Tomada de foto vertical.

b. Foliação S_{n-1}

Trata-se de uma superfície de difícil recuperação podendo ser observada em rochas do Complexo Meia Lua em locais onde as deformações superimpostas não mascararam a estrutura. Nesses pontos a superfície S_{n-1} mostra-se levemente anastomosada ou crenulada pela superfície S_n .

REIS NETO & SOARES (1987) chamaram-na de "Sst1" e relacionaram-na a um evento metamórfico no fácies anfíbolito, zona da estaurolita. A generalização deste evento não é confirmada para a Formação Betara, nem macro nem microscopicamente. Já no Complexo Meia Lua, pode ser observada com relativa clareza, principalmente através obliquidade entre as superfícies S_n e S_{n-1} .

A questão do desenvolvimento de foliações secundárias

concomitante ou preliminarmente à geração da foliação principal, é discutida por PLATT (1984), SHIMAMOTO (1989) e TOBISCH & PETERSON (1988). Ao estudarem a resposta cristalina à deformação cisalhante não-coaxial, estes autores discutem a possibilidade de haver desenvolvimento de clivagens e planos de foliação antitéticos à superfície original, de acordo com o modelo de Riedel. Isto explicaria o rotacionamento antihorário de granadas em xistos clásticos da Formação Betara, como observado por REIS NETO & SOARES (op.cit.).

Com base no estudo de resistência cristalina à deformação acima citado, é aqui proposta a possibilidade da foliação S_{n-1} também ter sido originada a partir de dobramentos isoclinais e/ou cavalgamentos responsáveis pela própria superfície principal S_n . Neste contexto a foliação S_{n-1} é considerada de geração precoce dentro de um evento deformativo maior, sendo resultado dos pulsos iniciais do evento progressivo de deformação.

c. Foliação S_n

Trata-se de uma estrutura penetrativa regional (Foto 2), com expressão física em todas as litologias da Formação Betara e Complexo Meia Lua. REIS NETO & SOARES (1987) denominaram-na de "Sal", ligada ao "Evento de Deformação Açungui" enquanto FIORI (1985) e FIORI et al. (1987b) denominaram-na de "Foliação Açungui".

Foi considerada por esses autores como uma superfície de cisalhamento de baixo ângulo, textura anastomosada e caracterizada pelo desenvolvimento de micrólitos submilimétricos até centimétricos. Os planos gerados se interceptam de tal forma que um corte perpendicular à foliação revela-se semelhante à estrutura "flaser".

No presente trabalho assume-se que esta superfície é produto de uma deformação progressiva, tal como discutida por TOBISCH & PETERSON (op. cit.).

No interior dos micrólitos, em rochas pelíticas, a granulação muito fina mascara possíveis lineações no material, enquanto que nas rochas de granulação mais grosseira, a deformação finita do conjunto de minerais, tais como o quartzo, define tectonitos L e também S. Em sua maioria, porém, são os tectonitos L/S que predominam, principalmente nos paragneisses do Complexo Meia Lua.

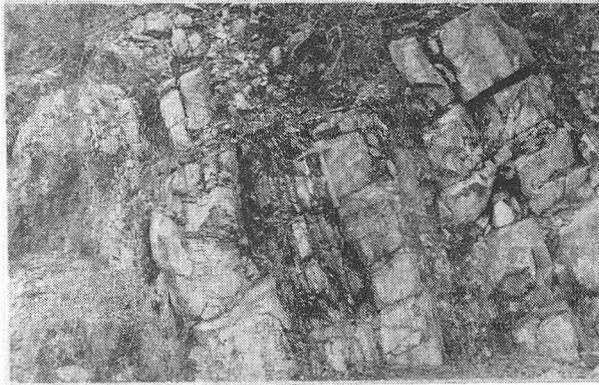


FOTO 2: Clorita quartzito da Formação Betara, com deformação dúctil-rúptil, intercalado com quartzitos menos deformados. Aspecto da deformação heterogênea no pacote basal da unidade. Afloramento em corte de estrada.

Nos planos de S_n , a clorita, a sericita e a biotita, atestam condições metamórficas da fácies xisto verde. Esta paragênese, em parte, é produto de um caminho metamórfico retrogradacional, com transformação da estauroлита para biotita e/ou clorita, granada para biotita e biotita para clorita, respectivamente. Os minerais mais antigos, encontram-se em sua maioria estirados de maneira paralela à subparalela à própria foliação S_n .

Um dos problemas principais refer-se à caracterização metamórfica da área. Sem dúvida existe uma diferença na paragênese mineral entre as duas unidades (Formação Betara e Complexo Meia Lua). É possível porém que esta diferença não represente diferentes eventos tectônicos, mas sim posicionamentos de níveis estruturais diferenciados, dentro do mesmo contexto geotectônico. Esta possibilidade foi discutida por LUCAS (1990) no escudo nordeste canadense em local denominado Cape Smith Belt.

Em zonas de cisalhamento mais intenso a progressão da deformação F_n , pode perturbar a superfície S_n , produzindo dobramento da mesma, e crenulação, que pode associar-se à cataclase.

A superfície S_n é produto de um cisalhamento de baixo a médio ângulo (10° a 50°) e regime tectônico dúctil a dúctil-rúptil, definida a partir da presença de sombras de pressão assimétrica e/ou simétricas, estiramento e achatamento com recristalização e neocristalização de minerais, além de outras estruturas de fluxo tais como: lenticularização acentuada, foliação "S-C", "quartzo-ribbon", dobras-falhas, dobras intrafoliares macro e microscópicas. Todas essas

estruturas caracterizam a tipologia estrutural dos milonitos e protomilonitos da área, principalmente do Complexo Meia Lua.

LISTER & SNOKE (1984), definiram a superfície S do par S-C como sendo relacionada à acumulação de deformação finita e a superfície C relacionada a altas taxas de deformação cisalhante. Esses autores caracterizaram duas classes de milonitos S-C. O Tipo I se desenvolveria preferencialmente em granitóides e augen-gnaisses e o Tipo II em rochas quartzo-micáceas. No primeiro a superfície predominante é a S, e no segundo é a C.

No Núcleo Betara, a superfície S_n é a superfície C do par S-C, principalmente em metassedimentos e metavulcânicas da Fm. Betara (Foto 3) e paragneisses do Complexo Meia Lua. Nos metassedimentos pelíticos é difícil a caracterização da superfície S, inclusive macroscopicamente. Nos ortogneisses retrabalhados do embasamento é possível a visualização tanto da superfície S, quanto da C.

Considerando que a S_{n-1} é produzida pelos pulsos iniciais do cisalhamento de baixo ângulo, ela poderia constituir, na verdade, a superfície S que, pelo modelo proposto é gerada anteriormente à C. A relação entre os planos S_n e S_{n-1} torna-se mais clara se a segunda for considerada como o plano antitético à superfície de cisalhamento principal, de acordo com SHIMAMOTO (1989) (Fig. 3).

Os planos da foliação S_n apresentam uma direção média entre $N30^\circ$ e $60^\circ E$, com mergulhos variáveis de baixos ângulos, entre 10° e 20° até próximo da verticalidade.

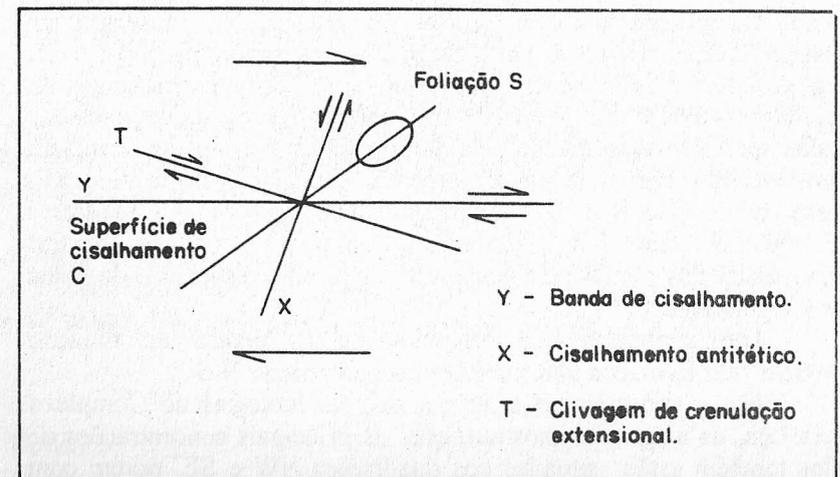


Fig. 3:

Cisalhamento Riedel aplicado ao desenvolvimento de foliação não-coaxial, permitindo explicar a ocorrência de superfícies secundárias concomitantes, inclusive, com movimentos antitéticos ao principal.
FONTE: SHIMAMOTO, 1989.

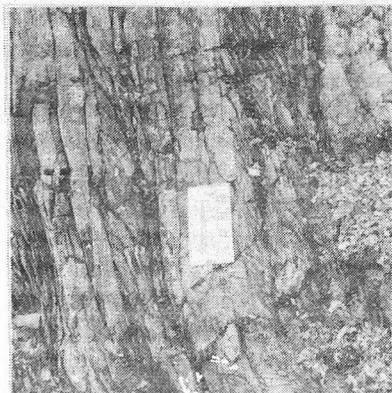


FOTO 3: Superfícies S-C geradas por cisalhamento rúptil-dúctil em quartzitos da Formação Betara. Os planos de cisalhamento fazem um ângulo de 30° entre si. Afloramento em corte de estrada.

d. Análise Geométrica da superfície S_n

A Figura 4(a, b e c) mostra estereogramas estruturais elaborados a partir dos pólos de S_n , os quais reúnem dados de setores delimitados por zonas de cisalhamento maiores.

A complexidade estrutural da área pode ocasionar distorção nos resultados, visto que deformações superimpostas à superfície S_n ocasionaram rotação das rochas que contém os planos.

Na porção norte e central do núcleo, os estereogramas mostram concentrações de pólos de planos nos quadrantes NW e SE (Fig. 4b). Nesse estereograma obtiveram-se os seguintes caimentos do eixo: $B = N46^{\circ}/14^{\circ}$ e $B' = N220^{\circ}/16^{\circ}$, onde B' representa os pólos dos planos após a rotação gerada pela deformação superimposta. Também é possível observar uma maior vergência dos planos no sentido SE. Nesse caso o eixo B pode estar mergulhando tanto para o quadrante NE quanto para SW. Igualmente observa-se rotação dextral pronunciada dos planos de foliação, havendo uma dispersão de polos para o quadrante SW.

Isto implicaria que originalmente os planos de foliação tivessem sido formados aproximadamente no sentido N-S.

Nas porções situadas mais a sul, em litologias do Complexo Meia Lua, os diagramas mostram que as principais concentrações de polos também estão situadas nos quadrantes NW e SE, porém com dispersão das atitudes no sentido N-S, e concentração relativamente maior em S e SW. É possível neste caso que a rotação dos estratos

tenha sido menor nesta porção do núcleo.

Por outro lado, é interessante observar que as atitudes tomadas nas rochas do Grupo Açungui (Formações Capiru e Votuverava) que contornam o Núcleo é semelhante à vergência estrutural, observada no mesmo (Fig. 4c). A atitude do eixo obtido neste diagrama é $B = N49^{\circ}/15^{\circ}$.

A Figura 4a, representa padrão geométrico dos planos de S_n de todo o Núcleo, que apresenta atitudes de $B = N42^{\circ}/30^{\circ}$ e $B' = N14^{\circ}/58^{\circ}$. Este estereograma permite duas interpretações. A primeira considera que o padrão reflete dobramentos superimpostos, gerados por cisalhamento, seja de baixo ou alto ângulo, ou ainda a ambos. A favor desta última possibilidade estaria a própria caracterização morfológica da antiforma do Betara, além de meso e microdobras, observadas respectivamente em afloramentos e lâminas, cujos eixos são horizontalizados no sentido NE-SW. Isto corroboraria as postulações de FIORI et al. (1987 a,b e 1991), de que haveria uma componente plicativa, intermediária, entre o cavalgamentos e a transcorrência.

Neste caso o eixo de dobramento estaria com um baixo ângulo de mergulho até a subhorizontalidade, e com leve mergulho para NE.

A segunda hipótese é de que os caimentos de pólos em quadrantes opostos, caracterizem lenticularizações dos estratos. Cada lente possibilitaria a ocorrência de mergulhos opostos da superfície S_n sem que necessariamente haja dobramentos. Esta hipótese é sugerida, ao nível de escala regional, por HASUI (1986).

No caso do Núcleo Betara há lenticularizações dos estratos ao nível local, sendo isto exemplificado através do padrão geométrico das diversas litologias tanto do Complexo Meia Lua quanto da Formação Betara, onde a S_n é lenticular. Esse fato, porém, não descaracteriza as evidências de que o Núcleo trata-se de uma estrutura megantiformal, comprovada através de planos de S_n cujos mergulhos encontram-se em quadrantes opostos, geralmente para NW ou SE, mesmo levando-se em conta a rotação dos mesmos.

Uma terceira possibilidade aventada, de que os dobramentos tenham sido gerados exclusivamente pelo cisalhamento transcorrente não é confirmada, visto que a maioria dos eixos de dobras da foliação S_n são compatíveis com movimentos tangenciais e não direcionais.

e. Foliação S_{n+1}

São planos de cisalhamento, observados de forma mais evidente na Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha-Cubatão.

Caracteristicamente assumem um padrão lenticular espaçado, seccionando a superfície S_n obliquamente, através de planos de cisalhamento de alto ângulo de mergulho até verticais. Este padrão foi observado em superfície e também em subsuperfície, através de testemunhos de sondagem, em furos realizados pela VOTORANTIM, junto à zona de cisalhamento de alto ângulo dos pacotes carbonato-silicatados, posicionados sobre os quartzitos próximos à localidade de Betara.

O cisalhamento é rúptil-dúctil até exclusivamente rúptil, principalmente nos quartzitos basais da Formação Betara, com ocorrência de pequenas falhas, cataclasamento e cominuição de material. Entretanto em algumas litologias do Complexo Meia Lua, podem ocorrer feições indicativas de uma maior ductibilidade dadas pelo fluxo de minerais (estiramento e recristalização), gerando milonitos e protomilonitos. Nestes litotipos é possível observar cloritização de biotitas e hornblendas.

Um dos problemas da diferenciação, no campo, entre os planos S_{n+1} e S_n , é o paralelismo ou sub-paralelismo entre ambos. A geometria do núcleo sugere que isto ocorre em função do movimento transcorrente, que rotaciona a foliação S_n no sentido dextral, complicando sua individualização.

Estas zonas de cisalhamento de alto ângulo, podem ser confundidas com aquelas formadas pelo próprio cavalgamento, pois os planos são morfologicamente semelhantes. Localizadamente, porém, é possível haver obliquidade entre esses planos e as estruturas pré-existentes, tais como dobras intrafoliares e a própria superfície S_n (Fig. 5).

A movimentação transcorrente gera nos planos de cisalhamento dos metassedimentos e metavulcânicas da Formação Betara cataclasamento e pouco estiramento, ao passo que nos ortognaisses do Complexo Meia Lua há estiramento, os quais apresentam baixo caimento em relação ao referencial horizontal. As atitudes médias do estiramento na área de Pombas (Complexo Meia Lua), estão em torno de $N30^{\circ}/10^{\circ}$ e $N225^{\circ}/05^{\circ}$.

f. Lineação do Tipo "a" (L_a): L_{a_n} e $L_{a_{n+1}}$

Foram observados pelo menos dois conjuntos de lineações, que se interesectam entre si em ângulos oblíquos a perpendiculares. O estiramento mineral representado nestas lineações estão relacionados a

pelo menos dois sistemas de deformação.

O mais antigo, ligado ao sistema de cavalgamento (F_n), gerou lineações (L_{a_n}) com direção em torno de NW-SE, variando para N-S ou para W-E geralmente com caimentos médios a altos tanto para NW quanto para SE (Foto 5).

O segundo sistema, denominado de $L_{a_{n+1}}$ ligado à transcorrência (F_{n+1}), produziu lineações de estiramento com direção NE-SW, com baixos caimentos para NE ou horizontalizados.

O dois conjuntos de lineações estão normalmente evidenciados pelo quartzo, em meio à massa pelítica dos anfíbolitos alterados, ou como "ribbons" nos xistos clásticos, quartzitos e gnaisses. Também podem ser representados por microvesículas estiradas em metavulcânicas. Normalmente os grãos são submilimétricos a centimétricos, ocorrendo raramente grãos maiores (foram encontrados alguns eixos "X" de boudins).

As lineações de estiramento, no Complexo Meia Lua, são de difícil recuperação, pois o achatamento pode se mostrar, tão intenso que mascara o eixo "X" do objeto deformado ao confundí-lo com o eixo "Y", em função das similaridades de seus tamanhos (tectonitos S/L).

O par S-C de cisalhamento, já mencionado, apresenta um papel preponderante nestes tectonitos. No caso presente a progressividade da deformação propiciou paralelização das superfícies de foliação, caracterizando o achatamento generalizado dos microlitos.

As lineações observadas, macro e microscopicamente, são formadas tanto a partir de minerais pré-cinmáticos, como os feldspatos potássicos dos ortognaisses do Complexo Meia Lua, quanto a partir de minerais sincinmáticos, como as biotitas geradas a partir do retrometamorfismo das hornblendas.

Também o quartzo recristalizado, a partir da cominuição de grãos primários que se dá através de processos deformativos de cisalhamento não-coaxial, caracterizam as lineações de estiramento.

Normalmente é o quartzo neoformado que fornece indicações do sentido de cisalhamento através da sua forma em "ribbons". Por outro lado, as sombras de pressão, devido à sua simetria, dificultam a obtenção do correto sentido de transporte tectônico (PASSCHIER & SIMPSON 1986).

Além das lineações minerais, ocorrem meso a micro boudinagem, que também auxiliam na caracterização das lineações do tipo "a".

No estereograma das lineações de estiramento para a Formação Betara (Fig. 4d), há dispersões nas lineações La_n e La_{n+1} . No quadrante NW são observadas lineações do tipo La_n , relacionadas aos cavalgamentos, cuja atitude é de $N270^\circ/54^\circ$. Estas se apresentam rotacionadas até o sentido NW-SE ($N332^\circ/44^\circ$), devido, possivelmente, a um efeito das deformações tardias superimpostas. Para a porção sul, há uma maior homogeneidade na tendência das direções de La_n .

Já as lineações do tipo La_{n+1} se concentram nos quadrantes NE ($N42^\circ/50^\circ$) e SW ($N230^\circ/20^\circ$ e $N210^\circ/40^\circ$), havendo também, concentração das mesmas no sentido E-W. Isto caracterizaria mudança gradativa de atitudes, em função de uma possível rotação dextral desde a direção NE-SW até a direção E-W. A rotação, por sua vez, estaria relacionada à movimentação gradativa dentro do mesmo ciclo tectônico.

g. Lineações do Tipo "b" (Lb): Lb_n , Lb_n' e Lb_{n+1}

As lineações do tipo "b", representam eixos de dobras, relacionadas geneticamente a cada um dos regimes de deformação da área. Desta forma os eixos Lb_n , Lb_n' e Lb_{n+1} representam, respectivamente, os eixos dos conjuntos de dobras, D_n , D_n' e D_{n+1} . Mesmo assim, dobras de diferentes estilos podem estar ligadas a um mesmo regime tectônico.

• Lineação Lb_n

O cisalhamento não-coaxial, de baixo ângulo, que gerou a superfície S_n , foi responsável pela formação concomitante de dobramentos de dimensões variadas, desde a escala microscópica até megascópica. Esse quadro está de acordo com a experiência de BELL (1978).

As litologias mais afetadas são as pelíticas, apesar dos dobramentos serem relativamente escassos no contexto geral do Núcleo Betara, visto que o processo de deformação progressiva mascarou-os, em grande parte.

Os estilos das dobras são variados, ocorrendo dobras intrafoliares, fechadas a isoclinais, as quais podem ser observadas tanto em lâminas delgadas, quanto em afloramentos, e podem ser caracterizada como pequenas dobras-falhas. Foram descritas, em

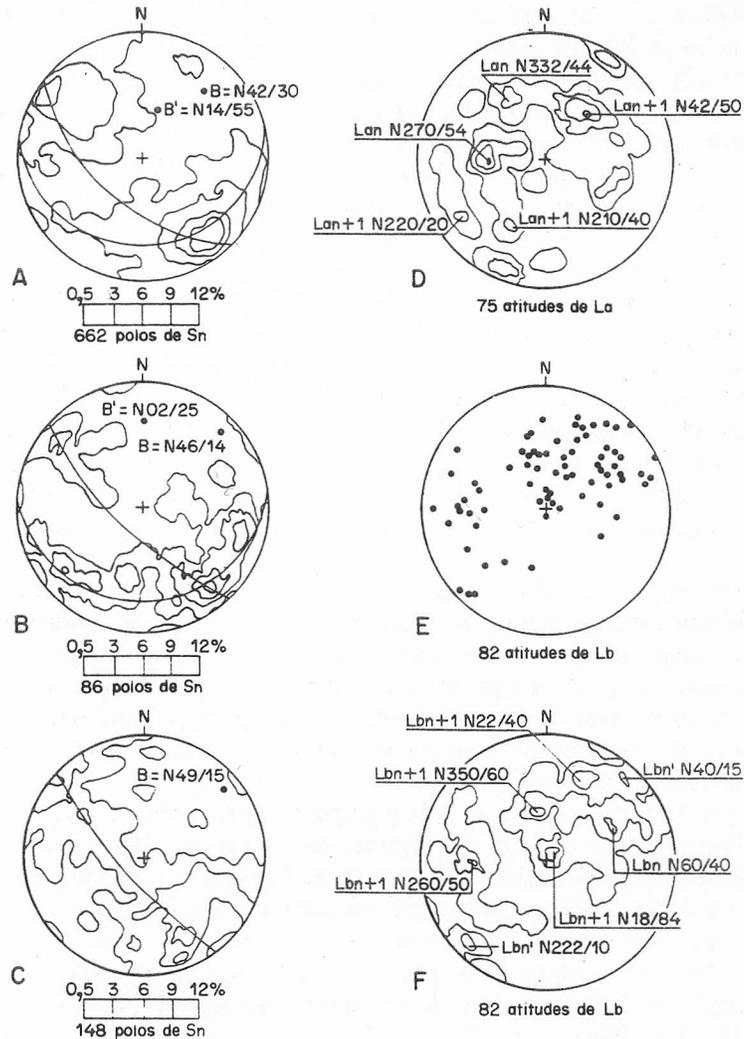


Fig. 4:
Estereogramas de atitudes estruturais do Núcleo Betara.
A) Polos de S_n da Formação Betara e Complexo Meia Lua;
B) Polos de S_n exclusivamente da área central do Núcleo Betara, apenas com litologias da Formação Betara;
C) Polos de S_n de litologias do Grupo Açungui, Formações Capiru e Votuverava adjacentes ao Núcleo;
D) Lineações de estiramento mineral (La) encontradas no Núcleo como um todo. Os diversos máximos assinalam a quais sistemas de deformação cada um deles está ligado;
E e F) Lineações de eixos de dobras (Lb), igualmente do Núcleo Betara como um todo. Também os máximos estão ligados aos diversos eventos de deformação.

lâmina, pequenas "bengalas", que caracterizam instabilidade local e início de formação de dobras de cisalhamento ("shear folds").

De acordo com RAMSAY (1980), os elementos planares incompetentes, em zonas de cisalhamento, deformam-se por apresentarem comportamento passivo, podendo produzir dobras similares. Este tipo de dobramento foi observado em vários pontos do Núcleo Betara.

O valor do mergulho dos eixos é variável, de acordo com as próprias atitudes dos planos de foliação S_n , apresentando valores baixos (10° a 20°) até verticais.

Na porção norte do Núcleo Betara, como mostra estereograma da Fig. 4e, há uma dispersão nas atitudes de eixos apesar de haver pequena concentração no quadrante NE e nas direções NS e EW. Na porção central do Núcleo, há maior concentração de eixos no quadrante NE.

Com a progressividade da deformação pacotes litológicos do Núcleo Betara sofreram inflexão, ajudando a formar, em parte, a antiforma homônima. Este processo possivelmente está ligado à ocorrência localizada de cisalhamento puro, apesar de, em larga escala, a área apresentar um cisalhamento simples ou não-coaxial. Essa possibilidade corroboraria a hipótese de FIORI (1987), anteriormente citada, que determina a existência de um regime de dobramento intermediário, que tipificam as estruturas Lb_n' , entre os regimes de cavalcamento e transcorrente.

A projeção do eixo da megantiforma (Antiforma do Betara), paralela às projeções dos eixos da lineação Lb_n' , apresenta mergulho suave ora para NE ora para SW, normalmente quase horizontal. Isto é observado no diagrama da Fig. 4f, onde os máximos mais significativos apresentam atitudes iguais a $N222^\circ/10^\circ$ e $N40-60^\circ/10^\circ$.

Analisados à luz das atitudes de L_n , que revela uma possível rotação dextral, os eixos de dobras de L_n , que atualmente encontram-se direcionadas para NE-SW, poderiam ter sido formados, originalmente, no sentido N-S.

• Lineações Lb_{n+1}

As estruturas relacionadas às lineações Lb_{n+1} são de três tipos, ligadas geneticamente ao sistema transcorrente: dobras de arrasto, crenulações e dobras escalonadas.

As primeiras são observadas em nível macroscópico apenas na Z.C. Lancinha-Cubatão, tem tamanhos métricos a decimétricos e apresentam normalmente eixos com altos ângulos de mergulho.

As crenulações variam de milimétricas a decimétricas, porém

raramente podem ocorrer ondulações métricas afetando a foliação S_n . As atitudes dos eixos destas dobras são variáveis, localizando-se em quadrantes opostos. Estas estruturas não são penetrativas, mas podem ocorrer em xistos e pelitos da Formação Betara.

As dobras escalonadas são as mais representativas do sistema deformacional transcorrente na área, havendo concentração da direção de mergulho dos eixos no sentido N-NE. No diagrama da Fig. 4f observam-se 4 concentrações principais das lineações Lb_{n+1} , geradas durante o regime transcorrente: $N18^\circ/84^\circ$, $N22^\circ/40^\circ$, $N350^\circ/60^\circ$ e $N269^\circ/50^\circ$.

h. Clivagem de Fraturas e Juntas

As observações de campo permitiram a identificação de diversas famílias de fraturas, sendo as mais frequentes aquelas de direção NW-SE e NE-SW.

Correspondem a diaclasamentos ocorridos nos tipos litológicos mais competentes, sem a geração de minerais recristalizados em seus planos.

As fraturas de direção NW-SE, coincidem com as intrusões dos diques de diabásio, e apresentam uma maior regularidade, criando macrólitos cujo espaçamento é decimétrico a centimétrico. São geralmente retilíneas e posteriores às clivagens de crenulação direcionadas para NE-SW.

As famílias de fraturas, correspondentes à direção T ou à direção R' de Riedel, estando, em princípio, ligadas geneticamente ao movimento transcorrente da Z.C. Lancinha-Cubatão, baseado no fato de que as mesmas apresentam relações angulares entre 80° e 40° com a direção principal desse mesmo lineamento.

i. Indicadores da Direção de Movimento

Indicadores da direção de movimento para os sistemas não-coaxiais, tanto de baixo quanto de alto ângulo, foram observados na Formação Betara e no Complexo Meia Lua.

As lineações minerais indicam a direção, porém geralmente por si só não fornecem o sentido do transporte tectônico. Em função disso, essas estruturas foram tomadas apenas como indicativos da movimentação dos pacotes.

Em relação às zonas de cisalhamento de baixo ângulo, a deformação finita foi interpretada como representando um transporte tectônico de WNW para ESE, ou de W para E, com base na morfologia de dobras-falhas, sombras de pressão assimétricas,

superfícies miloníticas do tipo S-C e deslocamentos diferenciais de pequenas zonas de cisalhamento.

Em relação à zona de cisalhamento transcorrente, os indicadores de transporte sugerem uma movimentação principal dextral, que seria a causa da rotação de elementos estruturais como a foliação S_n , a lineação La_n e o eixo Lb_n , gerados pelo regime de cavalgamento. Isso é comprovado nos diversos estereogramas que mostram dispersão dos elementos estruturais.

3. GEOMETRIA DAS MEGAESTRUTURAS DA ÁREA

a. Zona de Cisalhamento Betara

A Zona de Cisalhamento Betara (Z.C. Betara), limita o núcleo homônimo na sua porção oeste, colocando-o em contato com os metassedimentos da Formação Votuverava. Apresenta um traçado curvilíneo, com uma grosseira disposição segundo a direção NNE, a partir da porção sul do Núcleo, até a porção central da área, onde inflete para NE-SW, desaparecendo junto a sua confluência com a Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha-Cubatão.

O mergulho está para NW, com valores médios entre 60° e 70° . Esta Z.C., representa um local de maior concentração da deformação, e provoca truncamentos de camadas de quartzitos, gnaisses, metabasitos, mármore, xistos e quartzitos hematíticos. Define uma zona de deslocamento diferencial, onde o pacote rochoso da Formação Votuverava cavalgou sobre os conjuntos litológicos do Núcleo Betara.

A Z.C. Betara foi gerada por cavalgamento, pois apresenta estruturas compatíveis com este tipo de movimentação; descritas a seguir:

- frequência das lineações do tipo "a" caindo concordantemente com os mergulhos dos planos de foliação, isto é, para NW;
- foliação S_n , com características de intenso cisalhamento não-coaxial, dúctil, com desenvolvimento de milonitos e protomilonitos;
- micrólitos bastante irregulares nas litologias mais pelíticas;
- interdigitação tectônica marcante de diferentes litotipos, tais como gnaisses, quartzitos e anfíbolitos.

Esta é a estrutura mais característica, na área, gerada pelo sistema de deformação não-coaxial de baixo ângulo, cuja natureza

Salamuni, E. et al. - Características estruturais e evolução tectônica... 109
dúctil a dúctil-rúptil é decorrente da movimentação tangencial ou de baixo ângulo.

O mergulho relativamente alto da estrutura é decorrente de um virgamento generalizado do Núcleo. As estruturas, originalmente de baixo e médios ângulos, foram empinadas em consequência aos dobramentos tardios ao sistema de cavalgamentos somados a um dobramento intermediário entre o regime de cavalgamento e o regime transcorrente posterior.

b. A Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha-Cubatão

A denominação, aqui adotada, para a estrutura corriqueiramente designada de "Falha da Lancinha", cuja expressão é continental (HASUI, 1986), adequa-se a estudos a respeito de "thrusts belts" em orógenos, cujas características são semelhantes ao "Cinturão Ribeira".

HASUI (op.cit.) e HASUI et al. (1988) já havia sugerido que o Lineamento Lancinha seria uma zona de cisalhamento de alto ângulo e FASSBINDER (1990), ao detalhar segmentos desta estrutura, confirmou esta hipótese.

Na área estudada, esta é a estrutura tectônica mais marcante, colocando em contato, na região de Rio Branco do Sul, rochas do Núcleo Betara com a Formação Capiru (Grupo Açungui).

Apresenta uma direção média de $N50^\circ-55^\circ E$, e mergulho vertical a sub-vertical. Sua expressão morfológica ramifica-se por uma depressão linear, em vários traçados paralelos entre si na porção nordeste da área, onde ocorrem rochas da Fm. Betara. Mais ao sul, no Complexo Meia Lua, tais traçados se unem e se afastam sucessivamente, determinando uma zona lateral de cisalhamento que pode chegar até a 2 Km de largura.

Produz lenticularização marcante das rochas, observável desde a escala micro e macroscópica até a megascópica (Fig. 5).

Os critérios adotados para a determinação do sentido de movimento, caracterizado como dextrógiro, foram marcadores macroscópicos em nível de afloramento tais como dobras de arrasto, boudins e feições cataclásticas deslocadas. Indicadores esparsos de movimentação sinistrógiro, relacionadas à possíveis reativações dos movimentos direcionais, apesar de raros, também foram observados.

Na zona de cisalhamento ocorrem produtos de deformação finita de natureza rúptil, isto é, brechas, protocataclitos, cataclitos e intenso fraturamento, com cominuição das rochas. Não raro, porém, são observados protomilonitos associados aos cataclitos,

evidenciando, a natureza dúctil secundária das rochas desta zona de cisalhamento.

Foram identificadas, próximas à localidade de Pombas feições eminentemente de deformação plástica, em rochas quartzo-feldspáticas, tais como percolação de fluidos, lenticularizações e cisalhamento exclusivamente dúcteis, ligados ao movimento transcorrente, corroborando as observações de FASSBINDER (op.cit.).

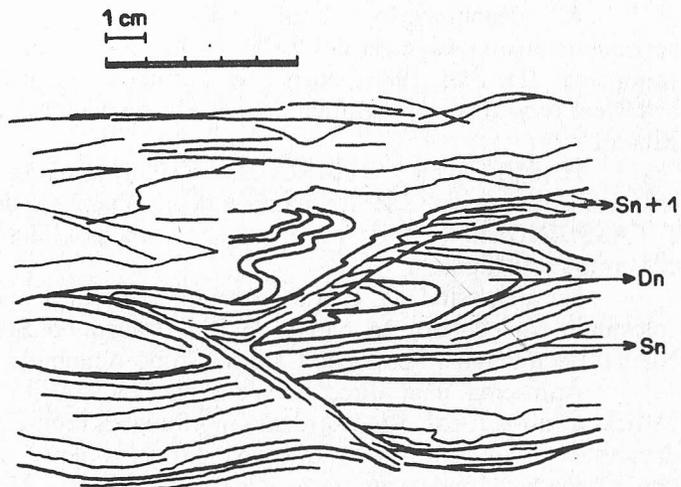


Fig. 5: Estruturação complexa de metassedimento da Formação Betara. Há uma foliação Sn paralela ao bandamento composicional e dobras (Dn) geradas concomitantemente. Estas estruturas são cortadas pela foliação Sn+1 milonítica, gerada pelo cisalhamento de alto ângulo (desenho em planta).

c. A Estrutura Antiformal do Betara

O Núcleo Betara é uma estrutura de geometria complexa: ao sul ocorre como uma antiforma aberta com flancos normais e leve vergência para SE. Na porção nordeste, porém, encontra-se progressivamente mais fechada e até cerrada, com flancos mergulhando para NW e vergência mais acentuada para SE. Nessa área o flanco oriental se encontra invertido ou parcialmente invertido, como já referido por MARINI (1970).

Este comportamento sugere que a porção setentrional do Núcleo, principalmente na parte ocupada pela Formação Betara, sofreu mais intensamente os efeitos dos sistemas de deformação superimpostos.

A estrutura, no conjunto, se comporta como um anticlinório, com planos de foliação dobrados, mergulhando ora para NW ora para SE. Através da análise de estereogramas, observou-se que o caimento médio do eixo apresenta valores entre 10° e 20° e direções entre N40°-50°E. As interpretações sugerem ondulações dos eixos, que podem apresentar mergulhos para SW e também para NE.

4. ANÁLISE CINEMÁTICA

a. Aspectos Gerais

A análise geométrica dos elementos estruturais e da interdependência entre os mesmos, permitiu a caracterização cinemática dos sistemas deformacionais (F), que agiram no Núcleo Betara, bem como o estabelecimento da relação cronológica entre os mesmos.

O objetivo foi traçar um quadro tectônico evolutivo para a área estudada relacionando-o com estudos regionais mais abrangentes.

Pelo menos três sistemas deformacionais foram definidos, através de padrões geométricos específicos.

O conceito de "Sistema" aqui utilizado, caracteriza um conjunto de deformações evoluídas progressivamente a partir de um único evento geotectônico. Cada sistema deformacional ligado a esse evento impõe uma estruturação particular, devido às mudanças geométricas progressivas dos eixos de esforços aplicados. Essas mudanças, por sua vez, implicam na ocorrência de diferentes respostas físicas do substrato e variam com a natureza deste.

A evolução de um sistema a partir do outro é, quando possível, abordada através das implicações tectônicas intermediárias, tais como dobramentos.

b. Os Sistemas Deformacionais

• Sistema F_n : Os Cavalgamentos

É representado pela tectônica tangencial não-coaxial, de baixo ângulo. Ele acha-se bem caracterizado nos pacotes litológicos da Formação Betara e do Complexo Meia Lua, sendo porém mais conspicuo neste.

O cisalhamento aconteceu em regime dúctil, comprovado pela milonitização dos litotipos, observados, em campo, em zonas e/ou bandas de cisalhamento onde há concentração da deformação. A movimentação geral determinada pelo cisalhamento caracteriza uma para-aloctonia dos estratos metassedimentares e metavulcânicos da Formação Betara, e imbricamento tectônico de paragneisses, quartzitos e xistos clásticos no Complexo Meia Lua.

A deformação finita, relativa ao sistema F_n , está ligada ao metamorfismo retrógrado do fácies xisto verde (zona da clorita).

O registro cinemático indica uma direção média NW-SE para o transporte tectônico. Porém é importante assinalar que os indicadores de movimento se encontram perturbados em relação à sua posição original graças à deformação resultante do sistema transcorrente, tardio relativamente aos cavalgamentos.

Como o último incremento, dado pelo sistema transcorrente, é caracterizado pela rotação dos marcadores de sentido de transporte tectônico e respectivos planos de foliação, com deslocamento de sua posição original, inicialmente a movimentação pode ter-se dado para E-W ou próxima a esta direção.

Modelos de duplex para o Grupo Açungui e Complexo Setuva foram indicados por FIORI (1985, 1987 e 1991) como forma de explicar a geometria da Bacia Açungui no Proterozóico Paranaense (Ciclo Brasileiro).

No Núcleo Betara esse padrão estrutural é sugestivo, ocorrendo empilhamento de estratos, provavelmente com a geometria de uma "pilha antiformal" ou "antiformal stack" (Fig. 6), segundo o modelo de BOYER & ELLIOT (1982). Esse modelo é baseado nos seguintes dados observados:

- há deslocamento diferencial entre os diversos pacotes litológicos, com forte lenticularização e milonitização no contato entre os mesmos (Formação Betara);

- há imbricamento tectônico a partir de lascas de diferentes litologias, gerando uma tectono-estratigrafia na porção exposta do Complexo Meia Lua;
- na Formação Betara, estratos de litologias semelhantes, (xistos em geral, mármore e outros carbonatos ou filitos metassedimentares) posicionados lado a lado caracterizam repetição de camadas. Os quartzitos também tiveram seus estratos duplicados, e essa repetição é representada por acamamentos com espessuras hectométricas a decamétricas;

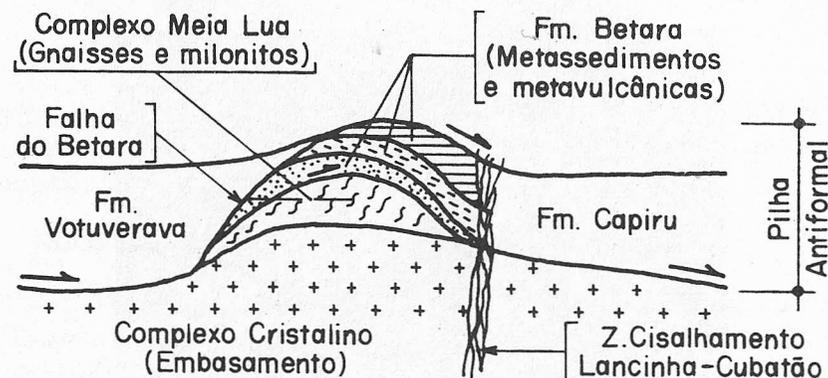


Fig. 6: Modelo da provável arquitetura para o duplex atuante no Núcleo Betara. Neste caso o arcabouço antiformal já teria sido dado pelos cavalgamentos.

- o padrão geométrico geral dos litotipos ocorrentes no Núcleo Betara é lenticular e em forma de anticlinal, corroborando a proposta da sua estruturação em "antiformal stack";
- constatação, em afloramento, da ocorrência de duplexes de escalas métricas até milimétricas, tanto na Fm. Betara (Foto 4) quanto no Complexo Meia Lua (Foto 5).

A tectônica de baixo ângulo inicial, tanto dos pacotes da Formação Betara quanto os do Complexo Meia Lua, determina uma generalizada imbricação tectônica representada por aloctonia ou paraaloctonia dos litotipos, que é responsável, por exemplo, pelo tipo de contato entre os quartzitos basais da Formação Betara e os paragneisses do Complexo Meia Lua.

O sistema F_n , no Núcleo Betara, corresponde ao denominado Sistema de Cavalgamento Açungui de FIORI (1987c, 1991) que afetou as Formações Capiru e Votuverava. O padrão estrutural é o mesmo, os produtos do cisalhamento nas rochas são semelhantes, e a diferença observada nos graus de deformacionais e metamórficos é explicada pelo posicionamento tectônico das unidades, em termos de nível estrutural.

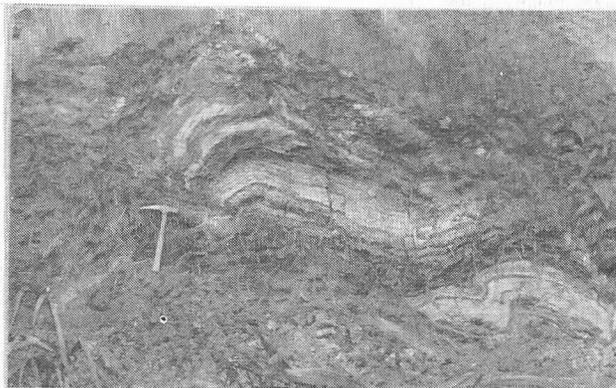


FOTO 4: Cavalcamento em gnaisses do Complexo Meia Lua. A porção que cavalgou mostra repetição de camadas, caracterizando um duplex. Afloramento em corte de estrada.

A análise estrutural efetivada no Núcleo Betara sugere que a superfície S_{n-1} , a geração de paragêneses de grau metamórfico mais alto, as feições que caracterizam rotação de minerais como a granada, e, a maior intensidade do cisalhamento, representem, na verdade o pulso inicial do sistema de deformação F_n , em rochas basais da bacia, representadas pelo conjunto metavulcânico-sedimentar e metassedimentar químico da Formação Betara.

A idéia de um pulso inicial para o sistema F_n , que pode ser caracterizado como progressivo, já foi sugerida por HASUI (1986) e EBERT et al. (1988).

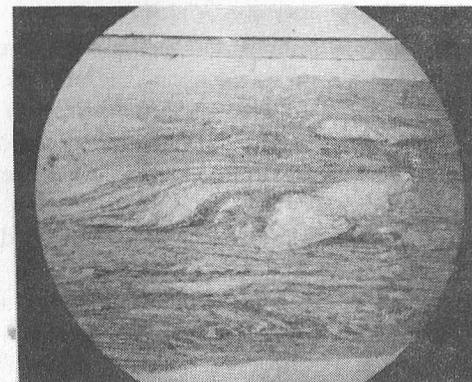


FOTO 5: Estiramento mineral, com padrão S-C, em metassedimentos do Complexo Meia Lua. O cisalhamento dúctil gera um padrão S-C. Lâmina delgada. A linha inferior tem cerca de 3 cm.

• Sistema F_n : Dobramentos Intermediários

FIORI et al. (1987b) e FIORI (1992) sugerem que o sistema de "Dobramento Apiai" represente uma fase de dobramento cronologicamente intermediária entre o sistema de cavalgamento Açungui e o Sistema de Transcorrência Lancinha. Porém, consideram que algumas dobras podem estar relacionadas ao sistema transcorrente. Por outro lado, SOARES (1987) acredita que o sistema de dobramento mais importante esteja ligado às faixas transcorrentes.

Na região do Núcleo Betara, ocorrem dobras de vários estilos, desde a escala microscópica até a megascópica. Normalmente os eixos estão orientados para NE-SW, porém com megulhos variados. Foram descritas dobras geradas pelo sistema de cavalgamento, normalmente localizadas próximas às zonas de cisalhamento de baixo ângulo.

A questão que se coloca, frente à "tectônica" intermediária (F_n), é se realmente ela constitui um sistema de deformação regional independente dos sistemas F_n e F_{n+1} .

Em trabalhos recentes sobre a evolução estrutural da região, é discutida a possibilidade dos dobramentos e/ou arqueamentos terem sido originados pelo sistema transcorrente, que por sua vez produziu dobras escalonadas megascópicas, originando entre outras estruturas, o Núcleo Betara. Porém a direção do eixo da megantiforma do Betara.

não corresponde, ao menos na sua porção nordeste, àquela esperada de uma dobra dessa natureza, visto que a direção (NE-SW) de seu eixo não é teoricamente compatível ao estilo deste tipo de dobramento, que requereria dobramento com eixo de direção N-S.

Isto só seria possível se se considerasse que a diferença entre a direção do eixo existente e a direção do eixo esperado de uma dobra "en échelon", fosse resultado da rotação dada pelo próprio movimento transcorrente. Esta hipótese, no entanto, deve ser considerada com cuidado, visto que também há concentração de eixos L_b em torno da direção N-S.

De qualquer modo, ocorrem eixos $L_{b_{n+1}}$ direcionados aproximadamente na direção N-S (ver Fig. 4f). Estes podem ser considerados como pertencentes a dobras escalonadas que afetam partes da megantiforma, já previamente formada, gerando inclusive, redobramento de megaestruturas, tal como na Z.C.Betara (Fig. 7).

Neste trabalho, uma terceira hipótese foi considerada para a evolução da Antiforma do Betara. Ela considera a mudança local de regime tectônico de não-coaxial para coaxial, em resposta física ao acúmulo de massa através do empilhamento antiformal com consequente aumento de resistência aos processos de deslocamento tangencial. EBERT et al. (1988), sugeriram esta possibilidade para a evolução das antiformas na região do Núcleo Perau em função de um regime compressivo de direção NW-SE.

Dobras desenvolvidas sin e/ou tardiamente ao sistema de cavalgamento são observadas tanto em micro quanto em macro escala, podendo corroborar a hipótese acima citada.

Dados obtidos neste trabalho são sugestivos desta última possibilidade. Há uma concentração elevada de eixos L_b na direção NE-S'W (ou E-W), o que sugere a existência de uma força compressional de direção NW-SE, coincidente, portanto, com as forças tangenciais que originaram os cavalgamentos e as dobras de cisalhamento F_n .

Em função dessa "coincidência de direção de forças" as dobras geradas pelo cisalhamento não-coaxial do sistema F_n apresentam eixos paralelos ao "trend" das dobras com raiz, geradas pelo "buckling" intermediário, aqui denominado de F_n' .

Entretanto, se considerada apenas a análise geométrica, sem conotação com modelos tectônicos, é possível se referir aos dobramentos intermediários como um sistema deformacional (F_{n+1}), com feições ligadas a uma compressão E-W ou próxima a ESE-WNW.

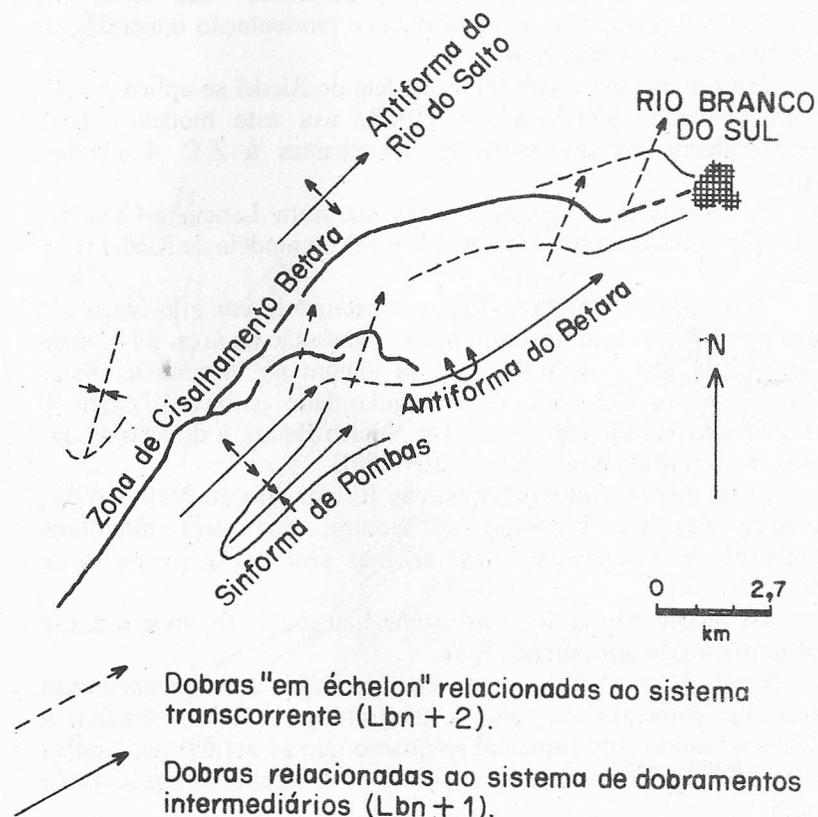


Fig. 7: Destaque do mapa tectônico do Núcleo Betara, onde são observadas os eixos de grandes dobras. Observar que a progressividade da movimentação propiciou um início de redobramento, já que o eixo da antiforma principal encontra-se rotacionado e com flanco invertido.

• Sistema F_{n+1} : Tectônica Transcorrente

Este sistema é representado na área pela "Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha-Cubatão", que secciona o Núcleo Betara em sua porção oriental.

Apresenta-se com alto ângulo de mergulho e gera lineamentos NE-SW, provocando um metamorfismo do fácies xisto verde nas porções milonitizadas, com recristalização e reorientação mineralógica de quartzo e minerais micáceos.

Em um contexto regional, o modelo de Riedel se aplica à Z.C. Lancinha-Cubatão. SYLVESTER (1988) usa este modelo para explicar falhamentos transcorrentes semelhantes à Z.C. Lancinha-Cubatão.

O sistema F_{n+1} gerou a mega estrutura Lancinha-Cubatão, cuja direção coincide com as fraturas Y ou D do modelo de Riedel (Fig. 8).

Falhamentos sintéticos foram constatados, em afloramento e fotogeologicamente, com maior ou menor expressão na área. São falhas cuja movimentação é dextral e que se juntam ao lineamento maior (Z.C.T. Lancinha-Cubatão) com angularidade variável, afetando indistintamente as litologias locais. No Núcleo Betara a direção dessas fraturas, P no modelo de Riedel, é $N30^{\circ}-40^{\circ}E$.

A família de fraturas antitéticas R' tem direção $N40^{\circ}-60^{\circ}W$, tratando-se de uma clivagem de fratura, que gera micrólitos relativamente bem espaçados entre si, mas sem desenvolvimento de micas.

Da mesma forma, fraturas extensionais ou T, foram geradas, e apresentam direção aproximada E-W.

Com a evolução e a continuidade da movimentação transcorrente principal, no entanto, as fraturas sintéticas, tendem a paralelizar o lineamento principal, enquanto que as antitéticas, tendem à ortogonalidade. Isto pode ser verificado no diagrama de rosáceas da Figura 8.

As estruturas secundárias na zona de cisalhamento em questão, tais como dobras de diversos estilos, fraturas de extensão como os "gashes" e fraturas de cisalhamento, são compatíveis com o modelo de Riedel.

A movimentação do sistema foi dextrógira e, juntamente com as componentes de movimentação transpressiva, origina lineações de estiramento que não são perfeitamente horizontais, mas apresentam ângulos de caimento variáveis de médios a baixos (em torno de 15° e 20°).

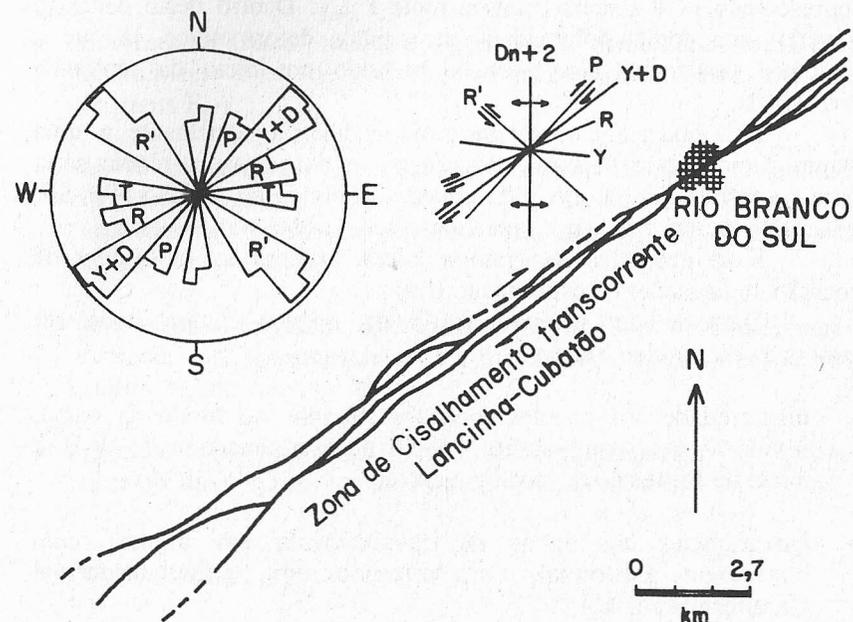


Fig. 8: Segmento da Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha-Cubatão. Acima, no modelo de Riedel, encontram-se elementos estruturais esperados em tais zonas. Mais à esquerda, o diagrama de rosáceas, obtido a partir de 323 atitudes, mostra a coincidência das famílias de fraturas com as direções Y, T e P do modelo. As fraturas R' correspondem à direção dos diques de diabásio.

5. HIPÓTESE A RESPEITO DA EVOLUÇÃO TECTÔNICA E CONCLUSÕES

A primeira hipótese de evolução tectônica do Núcleo indica uma progressividade da deformação, onde o sistema de cavalgamento F_n evoluiu para o sistema F_{n+1} , resultando num posterior rasgamento representado pelo sistema transcorrente F_{n+1} . Dentro deste contexto haveria uma contemporaneidade de eventos deformativos, já que a tectônica tangencial ainda estaria atuando no início da tectônica direcional.

Isso poderia caracterizar uma geometria semelhante a uma rampa lateral na cobertura supracrustal, onde a transcorrência seria uma resposta física de alívio da pressão exercida na direção NW-SE, constituindo uma zona de cisalhamento com feições transpressivas.

Essa geometria em rampa lateral poderia ser a origem da rotação de lineações de estiramento (La).

Deste modo, a estruturação do Núcleo Betara pode ser explicada da seguinte forma:

- Instabilidade dos pacotes rochosos situados no fundo da bacia, devido a uma compressão NW-SE ou aproximadamente W-E, e início da formação de cavalgamentos;
- Estruturação das fatias de cavalgamento em duplex, com morfologia antiformal, caracterizando uma pilha antiformal ("antiformal stack");
- Ocorrência localizada de regime tectônico coaxial em meio à movimentação não-coaxial, gerando dobramentos e acentuando ainda mais a morfologia megantiformal do Núcleo Betara;
- Com a implantação do sistema transcorrente, e a ocorrência de dobras escalonadas, a Antiforma do Betara já previamente desenvolvida, foi ressaltada ainda mais e a estrutura como um todo, rotacionada no próprio sentido da zona de cisalhamento, havendo leve empinamento da porção sul da estrutura.
- Exposição do Núcleo através da erosão das rochas sobrejacentes.

Essa hipótese baseia-se nas seguintes premissas:

- a Zona de Cisalhamento Transcorrente Lancinha-Cubatão é reflexo, na superfície, de descontinuidade profunda da crosta (FIORI 1985), com pulsos de reversão dextral e sinistral;
- a cobertura supra-crustal sofre deformação através de movimentos tangenciais, não-coaxiais, dúcteis a dúcteis-rúpteis os quais provocam empilhamento antiformal dos estratos (sistema F_n);
- aumento de massa litostática e geração de instabilidade local, com alternância local de movimentos não-coaxiais para coaxiais (sistema F_n);
- alívio da pressão tectônica pela movimentação das grandes descontinuidades de alto ângulo (Z.C.T. Lancinha-Cubatão) e consequente rasgamento da cobertura através do cisalhamento rúptil ou rúptil-dúctil;
- movimentos conjuntos da tectônica tangencial e de cisalhamento transcorrente transpressivo, com movimento oblíquo dos pacotes supracrustais;
- geração de estruturas (fraturas, arqueamentos e dobras escalonadas) ligadas aos movimentos transcorrentes.

AGRADECIMENTOS

A realização do presente trabalho foi possível devido ao suporte financeiro da FAPESP, à utilização de laboratórios da UNESP e ao apoio logístico da MINEROPAR-Minerais do Paraná. Agradecemos também ao apoio da UFPR e VOTORANTIM.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BELL, T.H. - 1978 - Progressive deformation and reorientation of fold axis in a ductile mylonite zone. *J. Struct. Geol.*, 1:31-42.
- BOYER, S.E.; ELLIOT, D. - 1982 - Thrust systems. *Am. Assoc. Petr. Geol. Bull.* 66:1196-1230.
- EBERT, H. - 1971 - Observações sobre a litologia e subdivisão do "Grupo Setuva" no Estado do Paraná, com sugestões à tectônica geral do "Geossinclínio Açungui". In: CONGR. BRAS. GEOL., 25, São Paulo, 1971. Anais... São Paulo, SBG. p. 131-146.
- EBERT, H.D.; HASUI, Y.; QUADE, H. - 1988 - Aspectos da evolução estrutural do cinturão móvel costeiro na região da Mina do Perau, Vale do Ribeira-Pr. In: CONGR. BRAS. GEOL., 35, Belém - SBG. p. 2318-2331.
- FASSBINDER, E. - 1990 - Análise estrutural da Falha da Lancinha - Estado do Paraná. Dissertação de Mestrado I.G. USP - São Paulo (inédito) 165.
- FIORI, A.P. (coordenador) - 1985 - Lineamentos tectônicos e possíveis mineralizações no Pré-Cambriano paranaense. Paraná. Rel. Conv. UFPr/MINEROPAR, 2v. 261p.
- _____ - 1991 - Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba. Tese de Livre-Docência I.G. USP - São Paulo (inédito) 261 p.
- _____ - 1985a - A Falha da Lancinha no Pré-Cambriano paranaense: reflexo de uma falha profunda? *Bol. Paran. de Geoc. UFPr. Curitiba*, (36):3-14.
- _____ ; FUMAGALLI, C.E.; GÓIS, J.R. de; SALAMUNI, E. - 1987b - As principais estruturas dobradas do Grupo Açungui na região de Rio Branco-Bocaiúva do Sul. In: SIMP. SUL-BRAS. GEOL., 3, Curitiba, 1987. Atas... Paraná-SBG. v.1, p.281-301.
- FIORI, A.P.; SALAMUNI, E.; FASSBINDER, E. - 1987b - Geologia da região de Bateias-Bocaiúva do Sul. In: SIMP. SUL- BRAS. GEOL., 3, Curitiba, 1987. Atas... Paraná-SBG. v.1, p.773-787.

- FIORI, A.P. - 1992 - Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui (PR). *Boletim IG-USP, Série Cient.*, 23:55-74
- HASUI, Y.; - 1986 - Novo modelo geológico do Vale do Ribeira. IPT, Relatório Interno (inédito) 67p.
- _____ ; RODRIGUES, E.P.; OLIVEIRA, M.C.B.O.; ENS, H.H.; MORALES, N.; ZANARDO, A.; QUADE, H.; NYK, R.; KULLER, M.L.; FRASCA, M.H.B.O. - 1988 - (inédito) Deformação por cisalhamento dúctil: modelo de transformações em rochas pré-cambrianas antigas do leste de São Paulo - Fase I. IPT - São Paulo (Relatório Interno) Vol.1 157p.
- LISTER, G.S.; SNOKE, A.W. - 1984 - S-C Mylonites. *Journal of Structural Geology*, 6:617-683.
- LUCAS, S.B. - 1990 - Relations between Thrust Belt Evolution, Grain-Scale Deformation, and Metamorphic Processes: Cape Smith Belt Northern Canada. *Tectonophysics*, 178:151-182.
- MARINI, O.J. - 1970 - Geologia da folha de Rio Branco do Sul (Pr). Tese de Doutorado. Fac. Fil. Ci. Le. Rio Claro (SP). 190p.
- PASSCHIER, C.W.; SIMPSON, C. - 1986 - Porphyroclast Systems as kinematics Indicators. *J. of Struct. Geol.* 8(8):831- 843.
- PIEKARZ, G.F. - 1981 - Reconhecimento de unidades correlacionáveis à sequência mineralizada do Perau, Estado do Paraná. In: SIMP. REG. GEOL., 3, Curitiba, 1981. Anais...São Paulo, SBG, v.1, p. 148-154.
- _____ - 1984 - Geologia e resultados preliminares da pesquisa mineral no Núcleo Betara da Formação Perau. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. Anais...Rio de Janeiro, SBG. v.7, p. 3682-3696.
- PLATT, J.P. - 1983 - Progressive refolding in ductile shear zones. *J. of Structural Geology*. 5(6):619-622.
- PLATT, J.P. - 1984 - Secondary Cleavages in Ductile Shear Zones. *Journal of Structural Geology, Londres* v.6(4):439-442.

- POPP, J. H.; ANGULO, R.; BIGARELLA, J.J. - 1979 - **Geologia**. In: Região Metropolitana de Curitiba. Recursos Naturais, Folha Ouro Fino. COMEC. 30p.
- RAMSAY, J.G. - 1980 - **Shear Zone Geometry: a Review**. Journal of Structural Geology, Londres (2):83-89.
- REIS NETO, J.M. dos; SOARES, P.C. - 1987 - **Um estudo de caracterização termo-dinâmica de micro-estruturas dos Grupos Açungui e Setuva (Pr)**. In: SIMP. SUL-BRAS. GEOL., 3, Curitiba, 1987. Atas... Curitiba. v.1, p.147-165.
- SALAMUNJ, E. - 1991 - **Análise estrutural do Núcleo Betara, Rio Branco do Sul (PR)**. Dissertação de Mestrado. UNESP - Rio Claro (inédita) 147 p.
- SCHOLL, W.U. - 1981 - **Geologia do Grupo Açungui na região a noroeste de Rio Branco do Sul, Paraná**. In: SIMP. REG. GEOL., 3, Curitiba, 1981. Atas...São Paulo-SBG. v.1, p.170-184.
- SHIMAMOTO, T. - 1989 - **The origin of S-C mylonites and a new fault-zone model**. Journal of Structural Geology. vol.11 (1/2):51-64.
- SOARES, P.C. - 1987 - **Sequências tecto-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do escudo paranaense** In: SIMP. SUL-BRAS. DE GEOL., 3, Curitiba, 1987. Atas... Curitiba v.1, p. 743-771
- SYLVESTER, A.G. - 1988 - **Strike slip faults**. Geological Society of America Bull. 100:1666-1703
- TOBISCH, O.T. & PETERSON, S.R. - 1988 - **Analysis and interpretation of composite foliations in areas of progressive deformation**. Journal of Structural Geology, v.10 (7):745-754.