

INFORME PUBLICITÁRIO

A EXPLORAÇÃO DE PETRÓLEO NA BACIA DO PARANÁ

Celso Hilário Raffaelli *

A Bacia do Paraná, cuja área no Brasil é de aproximadamente 1.137.000 km², tem despertado o interesse de pesquisadores tanto da área acadêmica como econômica desde o século passado. Tal interesse deve-se ao fato de as principais instituições de pesquisa e centros industriais localizarem-se na área da bacia ou junto dela. O esforço realizado na pesquisa de petróleo pode ser resumido em duas fases: antes e depois da criação da PETROBRÁS em 1953.

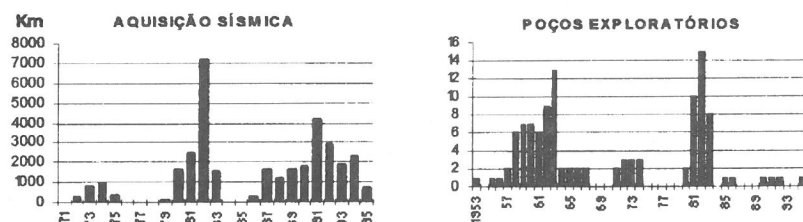
A primeira fase iniciou no final do século passado e durou até 1953. A atividade exploratória foi executada por diversas companhias e entidades de acordo com o interesse e legislação vigente, tendo realizado pesquisas o Serviço Geológico e Mineralógico Brasileiro, o Conselho Nacional de Petróleo, o Governo do Estado de São Paulo e Companhias Particulares. As atividades foram marcadas pela perfuração de poços rasos, especialmente na borda leste da bacia, e pelas limitações tecnológicas dos equipamentos disponíveis.

A principal contribuição desta fase pode ser resumida como a "descoberta" e delimitação da bacia e a caracterização da sua estratigrafia, tendo os estudos e pesquisas se concentrado na borda leste, área sem cobertura de basalto.

A segunda fase, cujo início coincide com a criação da PETROBRÁS em 1953, caracteriza-se pelo esforço em definir um arcabouço estrutural confiável, através da perfuração de 36 poços estratigráficos distribuídos estrategicamente, e pela busca sistemática de acumulações comerciais de hidrocarbonetos, tendo sido perfurados 77 poços exploratórios definidos com base em diferentes técnicas.

Além da PETROBRÁS, pesquisaram petróleo no período de 1979 a 1983 a PAULIPETRO, empresa do Estado de São Paulo formada pela associação entre a CESP e o IPT, e a BRITISH PETROLEUM, multinacional inglesa.

O esforço exploratório, medido em aquisição de dados sísmicos e perfuração de poços, alcançou 33.341 km e 113 poços, respectivamente, cuja distribuição ao longo do tempo pode ser vista nos gráficos abaixo:



O estágio atual do conhecimento da bacia pode ser assim resumido:

- identificação de um grande número de indícios de óleo e gás em poços e em superfície,
- estudo detalhado da influência das intrusivas no processo de geração,
- melhora significativa na qualidade dos dados sísmicos, apesar da ocorrência, na maior parte da bacia, de espesso pacote de basalto na superfície,
- volume de informações insuficiente para concluir sobre a existência ou não de acumulações comerciais de hidrocarbonetos.

O desafio que ora se coloca é encontrar acumulações comerciais na maior bacia sedimentar brasileira, localizada estrategicamente em relação aos grandes centros consumidores de energia do país.

Gerente do Núcleo de Exploração da Bacia do Paraná - PETROBRÁS

Dobramentos E Redobramentos Superpostos Na Porção Sul Da Zona De Cisalhamento Lancinha-Cubatão

Superposed Foldings and Refoldings In the Southern Part of the Lancinha-Cubatão Shear zone

Eduardo Salamuni*

RESUMO

Atuaram no Prê-Cambriano do Paraná, pelo menos três episódios tectônicos, denominados de Sistema de Cavalcamento Açungui (SCA); Sistema de Dobramento Apiai (SDA) e Sistema de Transcorrência Lancinha (STL). Este último representado pela Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão cuja natureza é transpressiva, figura 3.

Nas zonas de cisalhamento transcorrente transpressivo são verificados dobramentos que materializam os diferentes sistemas de deformação. A análise estrutural a partir de estereogramas (fig 6) e observações de campo (figura 5) permitiram a caracterização da geometria de cada um dos padrões geométricos de dobramento e conseqüentemente dos padrões de redobramento.

A área em que se concentrou a análise estrutural referente a este trabalho engloba o Núcleo Betara (Rio Branco do Sul - PR) (figura 1) além de suas adjacências. Também foram utilizados dados de outras regiões como da Megantiforma da Serra do Cadeado, próximo a Tunas (PR).

A título de individualização os vários conjuntos de dobras foram denominados de D_n , D_{n+1} e D_{n+2} (figura 4.1). O primeiro é representado por *shear folds* geradas em um regime de cisalhamento dúctil a dúctil-rúptil de baixo ângulo, produzidas pelo SCA, podendo ocorrer dobras menores desde a escala milimétrica até a decamétrica. A partir de uma deformação progressiva deste sistema, em função de uma possível mudança na orientação do eixo de stress, há geração de dobras maiores pelo SDA, inclusive criando janelas estruturais tais como a antiforma do Betara (figura 2). Os eixos destes conjuntos de dobras foram denominados de β_n .

O conjunto de dobras D_{n+1} , representados pelos eixos β_{n+1} , é caracterizado por dobras escalonadas, geradas pelo STL (figura 4.2). São dobras de comprimento de onda longos, abertas e fechadas e plano axial vertical ou aproximadamente vertical. Este sistema impõe uma deformação que modifica, em parte, estruturas preexistentes, entre estas os dobramentos ocorridos anteriormente.

Esta superposição das deformações, expressa por redobramentos, pode produzir inversão de mergulhos e rotação de eixos dos dobramentos anteriores. Os redobramentos podem ser observados a partir da análise estrutural nos estereogramas e perfis. Em campo as feições típicas dos mesmos são melhor observadas em escalas maiores inclusive através de fotografias aéreas. Este fato deve-se à diferença do comprimentos de onda e amplitudes de cada um dos sistemas de dobras.

* Departamento de Geologia Centro Politécnico Cx.P. 19011 - E-Mail: salamuni@setiva.geologia.ufpr.br

Um terceiro conjunto de dobras, D_{n+2} , é, de certa forma, anômalo dentro do contexto do Proterozóico Paranaense. Apresenta eixos (β_{n+2}) direcionados a NW, mostrando grandes amplitudes e comprimentos de onda, com estilo aberto a suave e planos axiais empinados a verticais. A tectônica geradora dos mesmos não está convenientemente definida, mas poderia ser explicada a princípio por um arqueamento ou ondulação da crosta no Paleozóico Superior, seja pela reativação dos sistemas transcorrentes ou pela compressão coaxial, tangencial, da própria crosta.

ABSTRACT

At least three tectonic episodes acted in the Pre-Cambrian of Paraná, known as "Açungui Thrust System (SCA)", "Apiá Fold System (SDA)", and "Lancinha Transcurrent System (STL)", figure 3. The last one is represented by the "Lancinha-Cubatão Shearing Zone" and it is considered a transpressive nature.

In the transpressive-transcurrent shearing zones, there are folds which materialize different deformation systems.

Structural analysis from stereonets (figure 6) and field observations (figure 5) allow the geometrical characterization of each one of the folding standards, and consequently the geometrical standards of the refolding.

The area reported in this paper comprises the Betara Core (Rio Branco do Sul -PR), figure 1, as well as its vicinities. Data of other areas, such as that of the megantiform of the Cadeado Range, near Tunas - PR, were also used.

In order to individualize the several fold assemblages, they were named D_n , D_{n+1} and D_{n+2} (figure 4.1). The first one represents shear folds generated in a ductile to ductile-ruptile low angle model, produced by the SCA, generally bearing smaller folds of millimetric to decametric scale. Following a progressive deformation of this system, due to a possible change of stress axis, bigger folds are originated (SDA), also created structural windows such as the Betara antiform (figure 2). The axis of these folds were named β_n .

The set of folds D_{n+1} , represented by the axis β_{n+1} is characterized by "en échelon" folds, generated by the STL (figure 4.2). They are folds of long wave length, open or closed and with a vertical axial plane (or nearly vertical). This system admits a deformation that partially changes the pre-existing structures there are former foldings between then.

This interference (superposition) of the deformations, expressed by the refoldings, may produce an inversion of dips and rotation of the axis of previous folds. These refoldings may be detected from the structural analyses of the stereonets and profiles. In the field, the typical features of the refoldings are poorly observed in an outcrop scale, even though they may be better seen in a bigger scale, including aerial photographs. This fact is due to the difference of wave lengths and amplitudes of each one of the fold systems.

A third set of folds, D_{n+2} , is somehow anomalous within the Proterozoic of Paraná. It shows axis (β_{n+2}) to NW, showing great amplitudes and wave lengths with an open or smooth style, and vertical axial planes. Their generated tectonics are not clearly defined, but that could be explained by the arching or warping of the crust in the Upper Paleozoic, either by the reactivation of the transcurrent systems or by the tangential coaxial compression of the proper crust.

INTRODUÇÃO

O detalhamento tectônico do Pré-Cambriano Paranaense, tem mostrado que a região apresenta, pelo menos, três episódios tectônicos entre o Proterozóico Inferior e Superior os quais podem estar associados entre si. A denominação de sistema para

cada um deles deve-se ao fato de que cada um dos episódios é caracterizado por uma série diferenciada de estruturas desde dobramentos com estilos diversos até falhas associadas. FIORI (1990), denomina os três episódios ou eventos tectônicos respectivamente de Sistema de Cavalcamento Açungui (SCA); Sistema de Dobramento Apiá (SDA) e Sistema de Transcorrência Lancinha (STL). Esta proposição é assumida aqui, em função de demonstrar uma boa diferenciação estrutural para os diversos padrões geométricos das áreas analisadas.

O sistema transcorrente, de natureza transpressiva, representado pela Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão segmenta e lenticulariza as unidades litológicas por ele afetadas criando padrões de interferência nas deformações geradas anteriormente com modificações impostas, inclusive a nível microscópico. Esta zona de

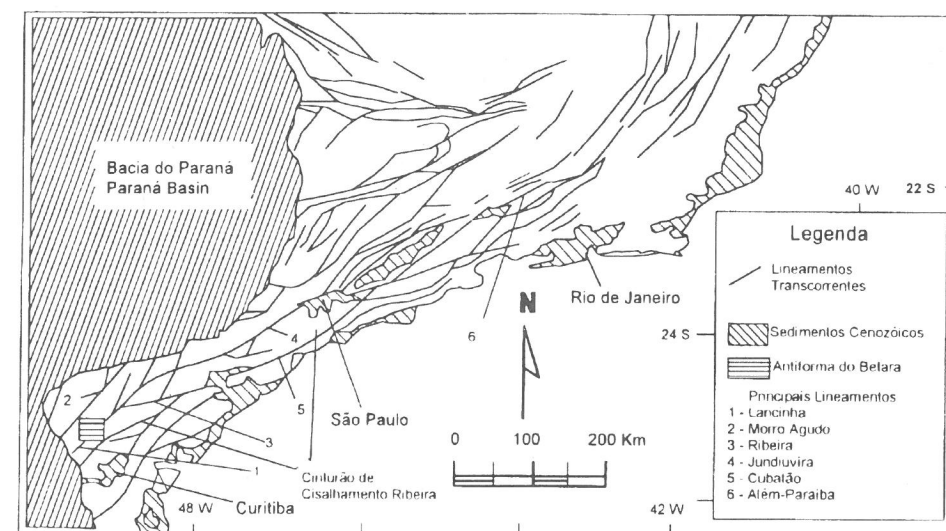


Fig. 1

Mapa tectônico de parte da Província da Mantiqueira, mostrando, a sul, o Cinturão de Cisalhamento Ribeira e a localização da área analisada neste trabalho (mod. EBERT et al. 1988). Tectonic map of part of the Mantiqueira Province, showing the Ribeira Shearing Belt in the South, and the area discussed in this paper (mod from EBERT et al., 1988).

cisalhamento está inserida no contexto da deformação regional do cinturão de cisalhamento Ribeira (Província da Mantiqueira), figura 1.

Na zona de cisalhamento propriamente dita, a superposição da deformação cria eixos com sentido de mergulho aproximadamente NS, cuja teorização é bem explanada nos trabalhos de BELL (1978) e PLATT (1983).

Além disso novos eixos, foram determinados em campo pela observação de estruturas redobradas, pela análise de estereogramas a partir de dados de foliação e através de fotointerpretação de grandes estruturas, as quais encontram-se onduladas e arqueadas.

A área de análise do presente trabalho é o Núcleo Betara localizado a sudoeste dos municípios de Rio Branco do Sul e Itaperuçu (PR) a aproximadamente 20 Km a norte de Curitiba. Além desta, foram analisados dados de outras áreas isoladas, as quais mostram estruturação característica semelhante ao Núcleo Betara.

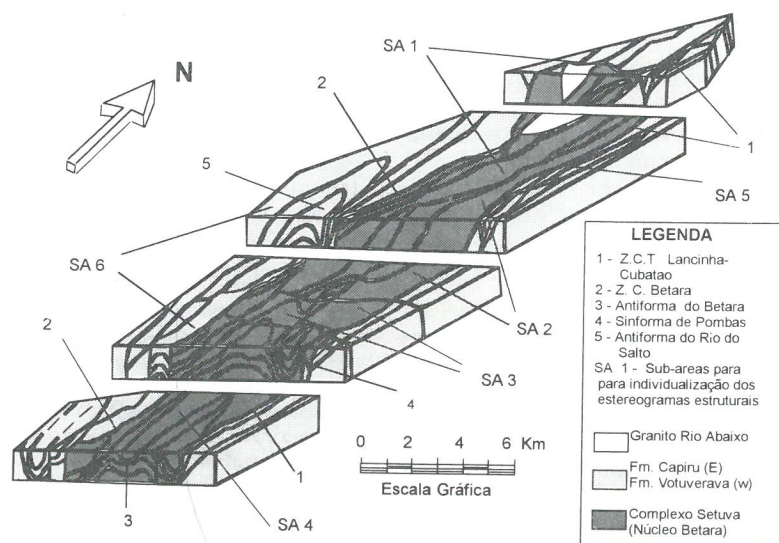


Fig.2

Localização das principais unidades geológicas na região do Núcleo Betara e as principais estruturas que ocorrem na área. Observar a localização das 6 subáreas utilizadas para construção dos diagramas estruturais da figura 6. Situation of the main geological units in the Betara Core and the principal structures that occur in the area. Observe the situation of the 6 sub-areas used in the construction of the stereonets (figura06).

CONTEXTO GEOLÓGICO E TECTÔNICO

A norte de Curitiba, a Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão afeta rochas do Grupo Açungui, do Complexo Setuva e de seu embasamento, denominado por alguns autores de Complexo Pré-Setuva. Esta última unidade é considerada, no entanto, como uma unidade tectono-estratigráfica por FIORI (1991) e SALAMUNI *et al.* (1993).

Na presente área de estudo o Grupo Açungui é representado pela Formação Capiru, constituído por metassedimentos terrígenos filoníticos, de acordo com a classificação de SIBSON (1977), representados por metassiltitos, metargilitos e metarritmitos. Também são observados corpos lenticulares de quartzitos e extensa exposição de mármores dolomíticos e calcíticos (figura 2). Além da Formação Capiru a Formação Votuverava, formada essencialmente por metassedimentos terrígenos com seqüências turbidíticas, além de metargilitos e metavulcânicas restritas, bem como depósitos metaconglomeráticos dispersos.

Esta típica seqüência de plataforma, está deformada de tal sorte que sua estratigrafia original é recuperada apenas em parte. FIORI (1991 e 1994) e FIORI *et al.* (1987) demonstraram a existência de uma tectônica de cavalgamento (SCA) que mascara a estratificação em função da imposição de uma geometria em duplex, que gera estruturas planares metamórficas, denominadas de "Foliação Açungui", por FIORI (1987) ou S_{a1} por REIS NETO & SOARES (1987). Esta foliação aqui denominada de S_{n1} , é caracterizada por "microlitons" lenticulares ou anastomosados, com espessuras submilimétricas a centimétricas, bem demarcados próximo às zonas de falhas de baixo ângulo, com cristalização metamórfica de paragêneses de baixo grau, tais como clorita e sericita e esporadicamente biotitas.

As foliações apresentam-se direcionadas entre N30°-50°E, e mergulhos variáveis desde baixo ângulo até a verticalidade, ora para NW ora para SE.

O Núcleo Betara é uma janela estrutural, em meio à Formação Votuverava, resultado de uma conjunção de movimentos tectônicos iniciados por cavalgamentos cujo sentido de transporte foi de noroeste para sudeste (ou NNW-SSE em alguns casos) e culminam com uma fase transpressiva da Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão (STL) (SALAMUNI *et al.*, 1993 e FASSBINDER *et al.*, 1994).

O Complexo Setuva, presente no Núcleo Betara, é constituído, por sua vez, pela Formação Betara (POPP *et al.*, 1979 e SALAMUNI *et al.*, 1993) ou Formação Perau (PIEKARZ, 1981) embasado pelo Complexo Meia-Lua (SALAMUNI *et al.*, 1993) ou Complexo Pré-Setuva (PIEKARZ, 1981 e outros autores).

A Formação Betara apresenta um conjunto de rochas metassedimentares clásticas quartzíticas, e pelíticas siltico-argilosas, imbricadas tectonicamente por unidades clasto-químicas, de natureza carbonática e quartzo-ferruginosa, por lentes metavulcânica-sedimentares, representadas por tufo traquíticos e por corpos metabasíticos.

Já o Complexo Meia-Lua é um conjunto tectono-estratigráfico, constituído por orto e paragneisses, metabasitos de origens diversas e porções quartzíticas metassedimentares, cortadas esporadicamente por veios quartzo-feldspáticos de natureza migmatítica. Estes litotipos encontram-se imbricados e tectonicamente transpostos.

Tanto a Fm. Betara quanto o Complexo Meia-Lua, apresentam a mesma foliação S_{n1} , antes caracterizada na Formação Capiru. Neste caso a superfície é representada pela xistificação dos corpos rochosos, através de lenticularização pronunciada, inclusive com microlitons pouco espessos e um maior fatiamento dos planos foliares. É comum a existência do par S-C, inserido nestes pequenos microlitons. A atitude média desta foliação coincide com a apresentada pela S_{n1} na Formação Capiru. A análise da paragênese destas rochas demonstra retrometamorfismo da fácies anfibolítica à fácies xisto verde. Como esta retrogradação é observada nos planos de S_{n1} isto pode demonstrar que a mesma foi também gerada pelo Sistema de Cavalgamento Açungui (SCA).

Igualmente, interpretou-se a foliação S_{n1} como tendo sido originada a partir de falhas de cavalgamento, essas estruturadas em duplex (SALAMUNI, 1993), provocadas por cisalhamento simples de baixo ângulo e lenticularização dos maciços.

Nas rochas do Complexo Meia-Lua, quando a foliação S_{n1} não é finamente fatiada, é possível a observação de uma superfície S_{n-1} pretérita, com ângulo de 30° até o subparalelismo, cortada ou crenulada pela S_{n1} . A S_{n-1} foi denominada de S_{st1} por REIS NETO & SOARES (1987). É penetrativa, lenticular ou anastomosada, e mais grosseira que a S_{n1} . Igualmente é característica de um cisalhamento simples, inclusive com rotação de minerais maiores. Nestas a cristalização metamórfica chega até a fácies xisto verde, zona da biotita, ou zona da almandina, com retrogradação para zona da clorita. É comum o crescimento de granadas e estáurolita sin-tectônicas.

Quanto ao sentido de transporte, dados regionais, tais como lineações de estiramento e marcadores cinemáticos, coligidos em vários pontos do Proterozóico Parananense, apontam movimento tectônico geral de oeste para leste, ou noroeste para sudeste, para o evento de fechamento da Bacia Açungui.

Este transporte é apontado por vários autores, tais como CAMPANHA *et al.* (1987); SOARES (1987); FIORI *et al.* (1987); FIORI (1991); BASEI *et al.* (1992) e SALAMUNI (1993). O movimento de massas, gerador de grandes cavalgamentos e estruturação em duplex (FIORI, 1991), foi responsável por inúmeras estruturas dobradas; características do cisalhamento de baixo ângulo, tais como dobras-falhas, dobras intrafoliares, crenulações diversas além de dobras reclinadas e deitadas, com raiz, cuja vergência

corroborar a hipótese do sentido de transporte. Estes dobramentos geralmente apresentam eixos com direção variando de N-S até N30°E (ou S30°W).

CARACTERÍSTICAS DA ZONA DE CISALHAMENTO LANCINHA-CUBATÃO

GÓIS *et al.* (1985) subdividiram o Pré-Cambriano paranaense em pelo menos oito compartimentos diferentes em função dos grandes lineamentos tectônicos existentes na região. Segundo estes autores, a análise estrutural de tais lineamentos permitiu evidenciar um padrão de fraturamentos "compatível com um sistema de falhamentos transcorrentes profundos".

A Falha da Lancinha foi caracterizada por FIORI (1985) como um destes lineamentos, presentes tanto no embasamento como na cobertura. A zona de falha mostra formas lenticulares ou amendoadas, perfeitamente visíveis na região do Núcleo Betara, através de fotografias aéreas e com direção N40°-50°E/S220°-230°W.

As características tectônicas do lineamento Lancinha são típicas de um modelo de cisalhamento simples. Através da observação de imagem de satélite, é possível determinar uma expressão lateral relativamente extensa a partir do traçado principal da falha. Nestes locais onde é comum a presença de dobras escalonadas, falhas sintéticas e antitéticas, de sorte que permite classificar este lineamento como uma zona de cisalhamento inserida no contexto do cinturão de cisalhamento Ribeira.

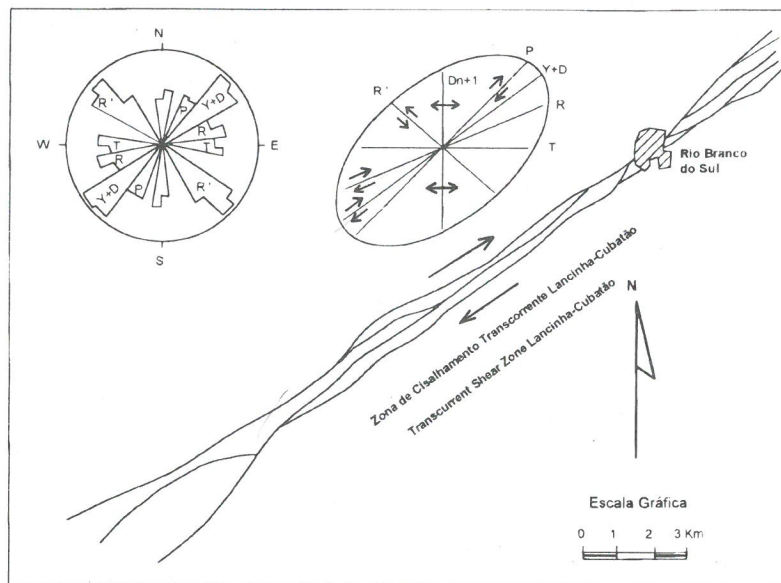


Fig. 3

Segmento da Z.C.T. Lancinha-Cubatão. O elipsóide de deformação, em cima à direita, demonstra os elementos estruturais esperados, segundo CHRISTIE-BUCK & BIDDLE, 1985. No canto superior esquerdo o diagrama mostra os elementos estruturais encontrados. Part of the T.S.Z. Lancinha-Cubatão, in the deformation ellipsoid, in the right corner above, are shown the expected riptile structural elements (CHRISTIE-BUCK & BIDDLE, 1985). In the corner are the found structural elements.

Em função desta característica regional, foi sugerido a adoção do nome Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão (SALAMUNI *et al.* 1993) para o lineamento que comumente é referido como Falha da Lancinha. Esta zona de cisalhamento apresenta um comportamento variado, visto que ora afloram rochas do embasamento mais tectonizadas, com uma deformação mais dúctil do que rúptil, ora afloram tectonitos gerados na cobertura metassedimentar cuja deformação é mais rúptil.

O movimento transcorrente é evidenciado por várias estruturas secundárias. Entre elas cita-se as dobras de arrasto, a lenticularização pronunciada dos corpos por ela afetados, com geração de estruturas internas sigmoidais e dobras escalonadas ou *en échelon* de escalas variadas, falhas sintéticas e antitéticas, além de milonitos e cataclastos, dependendo do nível estrutural onde estavam posicionadas. Além disso, no Núcleo Betara é evidenciada uma evolução transpressiva, responsável pelo soerguimento de rochas do embasamento, possibilitando superposição de rochas miloníticas e cataclásticas. A geometria transpressiva foi bastante detalhada, a sul do vale do Ribeira, por EBERT *et al.* (1988) na região da Megantiforma da Serra do Cadeado, na região de Anta Gorda, onde situa-se a Mina do Perau (município de Tunas).

No distrito de Pombas, em Itaperuçu, há afloramentos de rochas gnaissico-graníticas do Complexo Meia-Lua, com lineação mineral sub-horizontal, com cerca de 10° de mergulho, direção entre N40°-50°E desenvolvidas em planos lenticulares da Z.C. Lancinha-Cubatão. Nestas rochas, o caráter dúctil do cisalhamento é caracterizado pelo estiramento mineral.

Próximo a este local, adentrando-se em área de domínio dos metassedimentos da cobertura, como nos mármore e quartzitos do Grupo Açungui, a deformação é representada por protocataclase e cataclase, inclusive com cominuição das rochas posicionadas próximas às descontinuidades geradas pelo cisalhamento transcorrente.

Em função deste conjunto estrutural foi possível caracterizar o lineamento Lancinha-Cubatão, através do modelo de Riedel, como um sistema de cisalhamento ora de comportamento rúptil, ora de comportamento dúctil (SALAMUNI *et al.*, 1993 e FASSBINDER *et al.* 1994), figura 3.

SUPERPOSIÇÃO DA DEFORMAÇÃO

As estruturas geradas pela deformação inicial na área em estudo, possivelmente posicionavam-se de maneira diferente antes da ocorrência do sistema transcorrente.

Ao que pese a necessidade de trabalhos mais detalhados, inclusive com o estudo microtectônico nas zonas de cisalhamento de baixo e alto ângulo, observa-se que próximo às zonas transcorrentes, estruturas previamente originadas tendem a paralelizar-se à mesma. EBERT *et al.* (1988) menciona uma estruturação compatível com este modelo na região da Mina do Perau (figura 4.2).

A movimentação progressiva e predominantemente dextrógira da Z.C. Lancinha-Cubatão, forçou uma rotação de estruturas precocemente formadas pela mesma bem como aquelas preexistentes.

A figura 4.1, representa esquemas dos lineamentos tectônicos produzidos pelo sistema de cavalgamento, presentes no Núcleo Betara, obtidos através de fotoanálise e posteriormente confirmados em campo, os quais possibilitam uma visualização esquemática da rotação da estrutura antiformal, em nível estrutural dúctil a dúctil-rúptil. Como interpretado anteriormente por SALAMUNI *et al.* (1993), a geometria antiformal do Núcleo Betara foi produzida em parte pela estruturação em duplex e

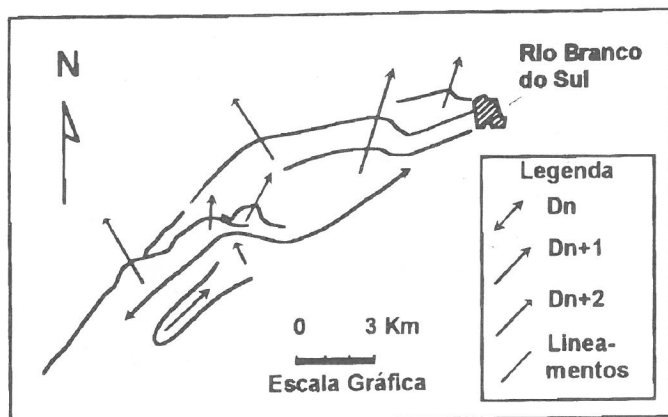


Fig. 4.1

Traços axiais dos diversos eventos de dobramento presentes no Núcleo Betara: a) evento D_n (redobrado), de geração tardia aos cavalgamentos; b) evento D_{n+1} , dobras "en échelon", geradas pela deformação transcorrente; c) evento D_{n+2} , dobras normais de grande amplitude, ligadas a eventos deformativos pós-Paleozóicos. Axial traces of the several folding events of the Betara Core: a) event D_n (refolded), later than thrusts faults; b) event D_{n+1} , "event échelon" folds, generated through transpressive transcurent deformation; c) event D_{n+2} , normal folds of great amplitude, linked to the deformation post-Paleozoic age.

em parte pelo sistema transcorrente (STL), através do progressivo movimento direcional da zona de cisalhamento. Os dobramentos D_n relacionados ao SCA, representados nos estereogramas pelos eixos estatísticos β_n (figura 6) e gerados pelos processos de cisalhamento de baixo ângulo, encontram maior expressão em grande escala nas falhas de cavalgamento cuja geometria similar a *thrusts sheets* ou pilhas antiformais. Os dobramentos D_{n+1} , representados pelos eixos estatísticos β_{n+1} , são dobras geradas pelo sistema transcorrente. Este segundo padrão de dobramento poderia ter ocorrido

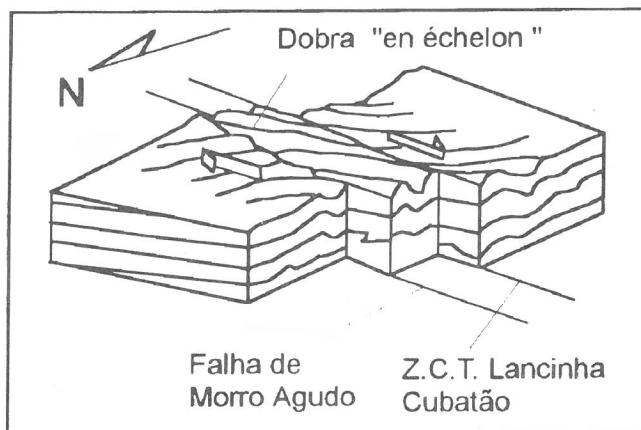


Fig. 4.2

Esquematisação de dobras "en échelon" geradas na Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão na região da Megantiforma da Serra do Cadeado (Tunas, PR) segundo EBERT et. al. (1988). Sketch of the folds "en échelon" generated in the Strike-slip Shear Zones Lancinha-Cubatão in the Serra do Cadeado Megantiform region (Tunas-Pr), according to EBERT et al. (1988).

na fase mais tardia da transcorrência quando a movimentação ocasionou mudanças na geometria original da antifforma, e conseqüentemente na atitude dos traços axiais, possíveis de visualização em mapa.

Este fato pode ser comprovado pela inflexão do traço axial principal da antifforma do Betara que se encontra contorcido e paralelizado ao traçado principal da zona de cisalhamento (figura 4.1).

Além desta inflexão, são anotadas dobras escalonadas, de estilos variados, que podem em alguns casos sofrer movimentos progressivos no sentido de se paralelizarem à grande estrutura.

Seções sucessivas ao longo da estrutura antiformal do Betara (figura 2) revelam, por sua vez, uma tendência à inversão do mergulho do flanco oriental da estrutura, que possivelmente, na época de início de sua formação, apresentava mergulhos para leste e após a deformação gerada pela transcorrência, mostra mergulhos claros para oeste, caracterizando uma vergência para SE.

Esta geometria está bem caracterizada na porção nordeste do Núcleo Betara, onde a Z.C. Lancinha-Cubatão secciona rochas do núcleo.

CORRELAÇÕES ESTRUTURAIS E CRONOLÓGICAS DOS EIXOS DE DOBRAS

A análise dos planos de foliação S_n através dos estereogramas de Schmidt-Lambert (hemisfério inferior), demonstra a inflexão de estruturas planares no interior e próximo à antifforma do Betara, confirmando uma nova deformação das estruturas já dobradas. É possível desta forma individualizar padrões de dobramentos, ou conjuntos de dobras, diferenciados entre si.

Os sistemas tectônicos que inicialmente agiram na área, SCA e SDA, são resultados de uma deformação progressiva, o primeiro evoluindo para o segundo. De fato é notória a coincidência de orientação entre dobras tipicamente caracterizadas

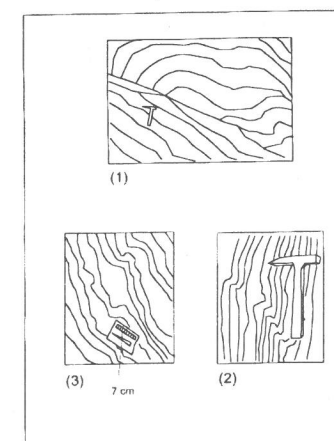


Fig. 5

Estilos diferenciados de dobras, observadas em campo, geradas pelo evento D_n : (1) dobra-falha, mostrando cavalgamento; (2) "shear-fold", cuja progressão geométrica tende a formar dobras em bainha; (3) dobras parasíticas dos grandes dobramentos, tardios aos cavalgamentos. Different folding styles, describe in work field, generated by the D_n event: (1) "fold-faulting" showing little thrusting; (2) shear-fold which geometric progression may form shear folds; (3) parasitic folds the great folding later than the thrusts.

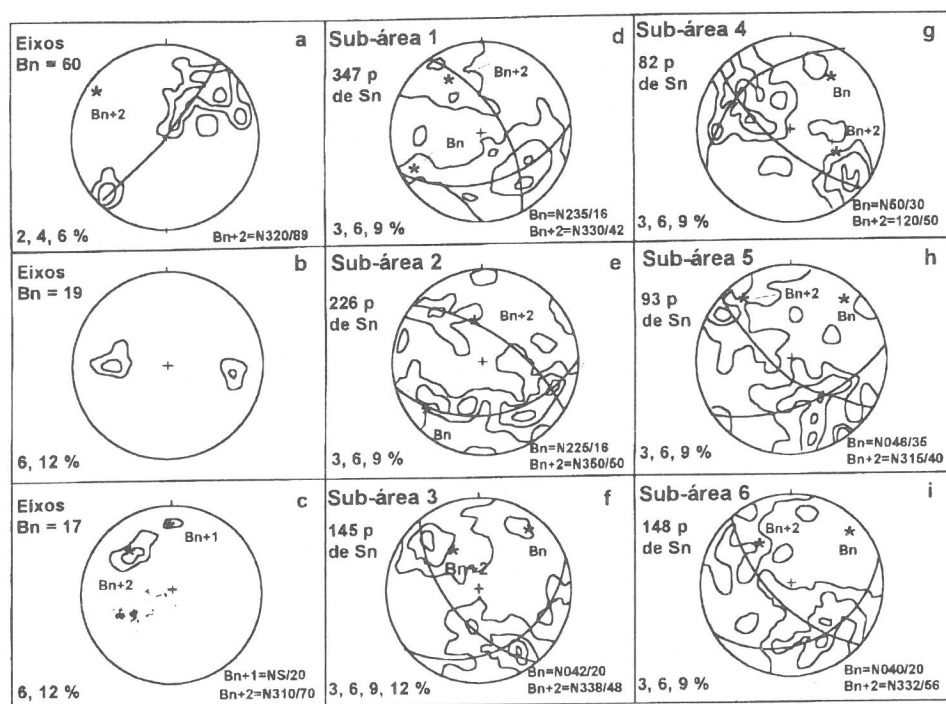


Fig. 6

Stereogramas obtidos a partir do plano da foliação S_n na antiforma do Betara e adjacências. Os diagramas (a), (b) e (c) representam as principais concentrações de eixos: B_{n+2} , obtido teoricamente no diagrama (a), é confirmado pelas medidas de campo mostradas no diagrama (c). Os diagramas (d) a (i) representam a análise setorizada das atitudes de S_n . Demonstrem os dobramentos e redobramentos da área. *Stereonet obtained from the foliation plane S_n in the Betara antiform and vicinities. The stereonet (a), (b) and (c) represent the main concentration of axes: B_{n+2} , theoretically obtained in the net (a), and confirmed through the field survey shown in the net (c). The stereonets (d) to (i) represent the sectorized analyses of the attitudes of S_n , and demonstrate the foldings and refoldings present in the area (see table 1).*

como *shear folds*, geradas portanto através de tensão não-coaxial e dobras geradas em um regime puramente compressional ou coaxial (figura 5).

Os dobramentos cedo-tectônicos deste conjunto D_{n1} , por ocasião dos cavalgamentos, apresentam estilos variados, desde intrafoliais até dobras abertas com plano axial reclinado, eixo direcionado para NE-SW e vergência para SE. As dobras tardi-tectônicas dos sistemas acima mencionados apresentam plano axial mais empinado, com eixo igualmente direcionado para NE-SW, são abertas a fechadas e com uma leve vergência para SE. Estas estruturas dão redobradas pelo sistema transcorrente, cuja relação temporal ainda não se encontra convenientemente estabelecida, o qual gerou dobras escalonadas.

O redobrimento ocasionou, em maior ou menor grau, a inflexão da foliação S_n observados em sucessivos estereogramas de Schmidt-Lambert (hemisfério inferior) a partir da porção nordeste do Núcleo até sua porção sul-sudoeste (figura 6).

Para esta análise a área que engloba o Núcleo Betara foi subdividida em pelo menos seis subáreas diferentes, determinados a partir de características estruturais

homogêneas entre si, pelo menos em escala de semidetalhe. Cada um dos blocos, apresentando entre 150 a 350 pólos de atitude de S_{n1} , foi analisado independentemente.

A figura 2 mostra um esquema tectônico da área, com lineamentos estruturais e respectiva localização das seis subáreas, divididas pelos lineamentos. Através dos estereogramas apresentados em cada bloco foi possível determinar o padrão estrutural da grande estrutura antiformal. Quase a totalidade dos estereogramas apresentam concentração de pólos tanto no quadrante NW quanto no SE, demonstrando uma dispersão de S_{n1} relacionada a dobras de estilo normal, cujo eixo é denominado de β_{n1} (figura 6 e tabela 1) que representam as dobras D_{n1} e podem apresentar até 30° dos eixos de dobras escalonadas, geradas pelo sistema transcorrente, representadas pelos eixos β_{n+1} .

A estrutura antiformal apresenta uma geometria aproximadamente cônica, aberta e com estilo normal na sua porção centro-sul e fechada com estilo inverso na sua porção norte-nordeste. A vergência estrutural está claramente para SE, inclusive com inversão do flanco oriental da estrutura. O regime de deformação é dúctil a dúctil-rúptil, comprovado pelas características litológicas dos quartzitos basais, xistos e filitos presentes no Núcleo Betara.

Esta geometria cônica, cujo fechamento ocorre na região da descontinuidade gerada pela Z.C. Lancinha-Cubatão, é provocada pelo sistema transcorrente, em função da inflexão da estrutura preexistente.

É notória a concentração de eixos β_{n1} no primeiro e terceiro quadrantes. A direção dos mesmos é paralela a subparalela à direção da Z.C. Lancinha-Cubatão, que apresenta direção $N40^{\circ}-50^{\circ}E/S220^{\circ}-230^{\circ}W$. Os mergulhos desses eixos estão entre 10° e 35°, condizentes, portanto, com *shear folds* geradas por falhas de baixo ângulo e/ou estruturação em duplex. De acordo com SALAMUNI *et al.* (1993) a estruturação antiformal do Núcleo Betara seria condizente com um empilhamento tectônico inercial e conseqüente dobramento do Núcleo.

Um terceiro conjunto de dobras pode ser observado através de eixos posicionados no quadrante NW. Estes são obtidos a partir de um redobrimento do flanco NW da estrutura original e foram denominados de β_{n+2} (figuras 6a e 6c) formando um novo conjunto de eixos cuja direção de mergulho, com aproximadamente de 40°, está para $N35^{\circ}-55^{\circ}W$. O ângulo entre β_{n+1} e β_{n+2} é alto na maioria dos casos.

Os eixos direcionados a NW foram mencionados anteriormente por HASUI *et al.* (1984) na Megantiforma da Serra do Cadeado, tanto em metapelitos do Grupo Açungui quanto em tectonitos do Complexo Setuva. Representam, para os autores, "dobras com plano axial empinado" e em planta ocasionam uma sinuosidade dos flancos das dobras preexistentes.

Igualmente BASEI *et al.* (1987) descrevem este padrão de eixos em rochas do Grupo Brusque, unidade situada no Pré-Cambriano de Santa Catarina e correlata ao Complexo Setuva.

Os efeitos de redobrimento gerados pela D_{n+2} , existem na Antiforma do Betara, pelo menos através de visualização em grande escala, a nível de mapa. Em escala de afloramento a geração de padrões de interferência é rara, podendo ser observada, no entanto, no contato dos quartzitos basais com xistos da Formação Betara. Como é grande a diferença de amplitude entre a D_{n1} , mais penetrativa, e a D_{n+2} , há poucas estruturas de interferência em escalas menores.

Tabela 1: Comparação entre as atitudes dos eixos dos dobramentos pré-existent β_{n+1} e os eixos dos dobramentos gerados pelo sistema transcorrente β_{n+2} . (ver também figura 6). Table 1: Comparison between the attitudes of the pre-existing fold axes β_{n+1} and the axes of the folds generated by the transcurrent system β_{n+2} (see also figure 6).

ESTEREO	Nº POLOS	β_n e/ou β_{n+1}	β_{n+2}	$\beta_1 \vee \beta_2$
1	347	N235°/16°	N330°/42°	80°
2	226	N225°/16°	N350°/50°	44°
3	145	N042°/20°	N338°/48°	64°
4	082	N050°/30°	N120°/50°	54°
5	093	N046°/35°	N315°/40°	89°
6	105	N040°/20°	N332°/56°	70°
Aflor. 11	064	N034°/08°	N310°/50°	82°
Aflor. 24	056	--	N302°/56°	--
Aflor. 04	030	N210°/13°	N098°/80° N278°/80°	14° 17°

A reorganização espacial da foliação no Núcleo Betara já foi notada por PIEKARZ (1984) e SOARES (1987). Foi interpretada pelo último como devida a dobramentos regionais, em função da reativação sinistrógiro transtensional, do Sistema Transcorrente Lancinha (Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão), formando dobras suaves e abertas de grandes comprimentos de onda e produzindo eixos com direção aproximada E-W. Com efeito, foi encontrado um padrão de dobramentos assim posicionado, como mostra a figura 6b, (ver também Afloramento 04, tabela 1) porém com um padrão geométrico diferenciado dos eixos denominados de β_{n+2} .

CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DOS CONJUNTOS DE DOBRAS : DISCUSSÃO

Os padrões geométricos dos dobramentos nas áreas analisadas apresentam-se bem definidos e são conhecidas suas correlações estruturais:

a) D_n representado pelos eixos β_n : *shear folds*, com eixos direcionados entre N35-55°E ou S35-50°W, com ângulos de mergulho baixos entre 5° e 30°, geradas em zonas de cisalhamento dúctil de baixo ângulo (figura 6a). São dobras milimétricas até decamétricas, esporadicamente de amplitudes maiores, como é o caso da antiforma do Betara, geralmente cilíndricas, mas cônicas em zonas de falha. Apresentam vergência para leste ou sudeste, podendo desenvolver eixos virgados similares a estruturas tipo bainha. São dobras fechadas até intrafoliares, podendo ocorrer freqüentemente dobras-falhas (figura 5), inclusive com caracterização do sentido de movimento, concordante com a vergência dos planos axiais.

b) D_{n+1} representado pelos eixos β_{n+1} : dobras escalonadas, com eixos direcionados para N05-45°E ou S05-45°W, gerados pelo movimento dextrógiro, transpressional, do Sistema Transcorrente Lancinha (figura 6c e 6e), formadas através de regime rúptil-dúctil. Geralmente são dobras de grande amplitude, com planos axiais empinados e até verticalizados. São dobras abertas, mas nas zonas de falha podem apresentar-se mais fechadas. Igualmente o ângulo de mergulho é baixo, situando-se entre 05° e 15°. Normalmente são cilíndricas. Os eixos direcionados a E-W, também observados próximos às zonas de falha transcorrentes, apresentam características geométricas similares às dobras D_{n+1} .

A geração dos dobramentos D_{n+2} , representados pelos eixos β_{n+2} , precisa ser discutida no que concerne ao seu tectonismo formador e sua cronologia relativa aos demais eixos.

Esta cronologia pode ser definida pelo padrão geométrico obtido nos estereogramas. Assim sendo, como os planos de S_n estão dobrados e posteriormente rotacionados, ou redobrados, comprovando sua inflexão, é possível determinar o eixo β_{n+2} como o eixo de rotação dos eixos β_n e β_{n+1} .

Em relação aos eixos E-W, a cronologia relativa é pouco caracterizável em função dos poucos indícios observados em afloramentos. Um dado a ser destacado, de acordo com a figura 6b, é a ondulação destes eixos, com mergulhos baixos tanto para E quanto para W. Estas podem ser consequência de rotação imposta por β_{n+2} . Esta possibilidade, no entanto necessita ser comprovada em campo através de estudos específicos.

Geometricamente as dobras D_{n+2} são classificadas como de estilos que variam de abertos a fechados, com plano axial empinado a pouco oblíquo. Pelo que se pode constatar, através de fotografias aéreas, em uma estruturação braquianticlinal na região de Anta Gorda (porção sul-sudeste da Megantiforma da Serra do Cadeado), cujo eixo principal mergulha tanto para NE quanto para SW, o dobramento D_{n+2} apresenta grandes comprimentos de onda e amplitudes médias.

Nesta mesma região é possível observar que paralelamente aos planos axiais são desenvolvidas clivagens de fraturas retilíneas e bem espaçadas entre si. Isto caracteriza um regime dúctil-rúptil por ocasião da formação das referidas estruturas.

Uma análise regional, procedida através dos estereogramas feitos em diversas regiões do pré-Cambriano do Paraná (ver FIORI, 1991), revelam algumas similaridades com os diagramas obtidos no Núcleo Betara.

Há, com efeito, em algumas regiões inflexão dos pólos de S_n , demonstrada em função da variação das atitudes destes pólos, entre N50°-60°E e S10°-20°W. Não há, porém, nenhum caso tão característico como demonstrado no Núcleo Betara.

É fato a ser mencionado que os dados analisados encontram-se próximos aos lineamentos transcorrentes referidos por GÓIS *et al.* (1985).

Entretanto, a correlação dos eixos β_{n+2} à tectônica do Sistema Transcorrente ainda não pode ser estabelecida, visto que o modelo de Riedel, na qual a geometria da Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão se adapta, não prevê eixos de dobras posicionados na direção em que estão estes eixos. A geração dos mesmos só seria possível com uma resultante compressional, cuja direção é NE-SW, o que não é o caso da tectônica transcorrente dextrógiro do Sistema Lancinha, cuja direção de esforços foi aproximadamente E-W, ou ainda de sua reativação sinistrógiro, cuja direção de esforços provável é N-S.

Desta forma a tectônica compressional que gerou a β_{n+2} , cuja resultante de esforços é NE-SW, só encontra parâmetro nos sistemas deformacionais conhecidos no Paleozóico, principalmente os que geraram os arqueamentos semelhantes ao Arco de Ponta Grossa, que apresenta eixo direcionado a NW-SE.

CONCLUSÃO

Próximos à Zona de Cisalhamento Lancinha-Cubatão são verificados eixos de dobramentos que materializam sistemas de deformação diferenciados.

A título de individualização, foram denominados, respectivamente, de β_n , representando o conjunto de dobras D_n , gerados por cisalhamento dúctil de baixo ângulo, com direção N35°-55°E/S35°-55°W; β_{n+1} , representando o conjunto de dobras D_{n+1} , gerados pelo movimento dextrógiro do sistema transcorrente transpressivo, caracterizado por dobras escalonadas, *en échelon*, cuja direção é aproximadamente

N05°-35°E/S00°-30°W e eixos gerados pela reativação sinistrógiro do sistema transcorrente, direcionados para E-W.

Estas direções já haviam sido descritas na literatura. Um outro conjunto de eixos determinados em campo, através de amostras macroscópicas e através da análise estrutural da região foi denominado de β_{n+2} direcionados entre N30°-60°W, representam dobras abertas sem vergência estrutural aparente.

A tectônica geradora deste conjunto de dobramentos não está convenientemente definida, mas poderia ser explicada a princípio pelo arqueamento da crosta no Paleozóico Superior.

Os diversos eixos definidos na análise estrutural representam superposição de padrões ou de geometrias estruturais formadas a partir de sistemas tectônicos diferenciados, porém possivelmente progressivos, com exceção dos eixos β_{n+2} .

Estes sistemas possibilitaram redobramentos que podem ser observados mais caracteristicamente a partir da análise estrutural em estereogramas, já que as feições estruturais típicas de redobrimento, tais como padrões de interferência tipo domo-bacia ou padrão em laço (RAMSAY, 1967) são apenas observadas em escala de mapa e raramente observáveis em escala macroscópica, ou em campo, em virtude de cada um dos conjuntos de dobras apresentar amplitudes diferenciadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASEI, M. A. S. ; SIGA JR., O. ; VASCONCELLOS, J. P. B. C. *Geometria e cronologia dos dobramentos superpostos no Grupo Brusque, SC*. In: SIMPÓSIO SUL-BRAS. GEOL., (3. : 1987 : Curitiba) Atas..., Paraná-SBG. v. 2, 1987, p.707-724.
- _____. et al. Evolução tectônica dos terrenos entre os cinturões Ribeira e Dom Feliciano (PR-SC). *Revista Brasileira de Geociências*, v.22, n.2, p.216-221, 1992.
- BELL, T. H. Progressive deformation and reorientation of fold axis in a ductile mylonite zone. *Journal of Structural Geology*, v.1, p.31-42, 1978.
- CAMPANHA, G. A. C. ; BISTRICHI, C. A. ; ALMEIDA, M.A. Considerações sobre organização litoestratigráfica e evolução tectônica da faixa de dobramentos Apiaí. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, (3. : 1987 : Curitiba) Atas..., Paraná-SBG. 1987, v. 2, p.725-742.
- CHRISTIE-BLICK ; BIDDLE, K. T. *Deformation and basin formation along strike-slip faults*. In: Strike-slip deformation, basin formation and sedimentation. Society of Economic Paleontologist and Mineralogist. Special Publication v. 37, p.1-34
- EBERT, H. D. ; HASUI, Y. ; QUADRE, H. Aspectos da evolução estrutural do Cinturão Móvel Costeiro na região da Mina do Perau, Vale do Ribeira - PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, (35. : 1988 : Belém) Atas..., Belém, SBG. 1988, v. 5, p.2318-2331.
- FASSBINDER, E. ; SADOWSKI, G. R. ; FIORI, A. P. Modelo de Riedel aplicado no Lineamento Lancinha, no Estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, UFPR, Curitiba, v.42, p.173-184, 1994.
- FIORI, A. P. A Falha da Lancinha no Pré-Cambriano paranaense: reflexo de uma falha profunda ? *Boletim Paranaense de Geociências*, UFPR, Curitiba, v.36, p.3-14, 1985.
- _____. *Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui a norte de Curitiba*. São Paulo, 1991. Tese de Livre-Docência, I.G. USP (inédito) 261 p.
- _____. Tectônica e estratigrafia do Grupo Açungui (PR). *Boletim IG-USP, Série Científica*, v.23, p.55-74, 1992.
- _____. Evolução Geológica da Bacia Açungui. *Boletim Paranaense de Geociências*, UFPR, Curitiba, v.42, p.7-27, 1994.
- _____. ; FUMAGALLI, C. E. ; GÓIS, J. R. de ; SALAMUNI, E. As principais estruturas dobradas do Grupo Açungui na região de Rio Branco-Bocaiúva do Sul. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, (3. : 1987 : Curitiba) Atas..., Paraná-SBG. v.1, p.281-301.
- _____. ; SALAMUNI, E. ; FASSBINDER, E. Geologia da região de Bateias-Bocaiúva do Sul. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, (3. : 1987 : Curitiba) Atas..., Paraná-SBG. v.1, p.773-787.
- GÓIS, J. R. ; SALAMUNI, E. ; FIORI, A. P. Lineamentos e compartimentos tectônicos do Pré-Cambriano Paranaense. In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, (2. : 1985 : Florianópolis) Atas..., Florianópolis : SBG, v. único, p. 159-171
- HASUI, Y. ; EBERT, H. D. ; QUADRE, H. Aspectos geológicos da megantiforma da Serra do Cadeado, PR. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, (33. : 1984) Atas..., v. 5, p.2380-2393.
- PIEKARZ, G. F. Reconhecimento de unidades correlacionáveis à sequência mineralizada do Perau, Estado do Paraná. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOLOGIA, (3. : 1981 : Curitiba) Atas..., São Paulo, SBG, 1981, v.1, p. 148-154.
- _____. Geologia e resultados preliminares da pesquisa mineral no Núcleo Betara da Formação Perau. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, (33. : 1984 : Rio de Janeiro) Atas..., São Paulo, SBG, 1984, v.7, p. 3682-3696.
- PLATT, J. P. Progressive refolding in ductile shear zones. *Journal of Structural Geology*, v.5, n.6, p.619-622, 1983.
- POPP, J. H. ; ANGULO, R. ; BIGARELLA, J. J. Geologia. Região Metropolitana de Curitiba : Recursos Naturais, *Folha Ouro Fino*. COMEC. 30 p. 1979.
- RAMSAY, J. G. Folding and fracturing of rocks. New York : McGraw-Hill, 1967. 568 p.
- _____. Shear zones geometry: a review. *Journal of Structural Geology*, v.2, p.83-99, 1980.
- REIS NETO, J. M. dos; SOARES, P. C. Um estudo de caracterização termo-dinâmica de micro-estruturas dos Grupos Açungui e Setuva (Pr). In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, (3. : 1987 : Curitiba) Atas... Curitiba, v.1, p.147-165.
- SALAMUNI, E. Análise estrutural do Núcleo Betara, Rio Branco do Sul (PR). Rio Claro, 1991. Dissertação de Mestrado. UNESP (inédita) 147 p.
- _____. ; FIORI, A. P. ; WERNICK, E. Características estruturais e evolução tectônica do Núcleo Betara a norte de Curitiba (PR). *Boletim Paranaense de Geociências*, UFPR, Curitiba, v.41, p.91-127, 1993.
- SOARES, P. C. Sequências tecto-sedimentares e tectônica deformadora no centro-oeste do escudo paranaense In: SIMPÓSIO SUL-BRASILEIRO DE GEOLOGIA, (3. : 1987 : Curitiba) Atas... Curitiba v.1, 1987, p. 743-771.