PADRÕES DE SUPERPOSIÇÃO DE ESTRUTURAS DO GRUPO SÃO ROQUE NA FAIXA JARAGUÁ-CRISTAIS (SP)

CELSO DAL RÉ CARNEIRO*, YOCITERU HASUI*,
NAOHIKO NAGATA* e MAURÍCIO OLIVIERI DE LIMA**

ABSTRACT Structural analysis was carried out in an area of 376 km² of the São Roque Group, extending between the Pico do Jaraguá (Municipality of São Paulo) and the Serra dos Cristais (Municipality of Jundiaí). Three phases of deformation were reconstructed based on superposition patterns, characteristics of fold styles, orientation criteria and the nature of axial-plane foliations. Metamorphic and magmatic phenomena were related to these deformation phases. The F₁ deformation phase generated rare tight folds with axial-plane slaty cleavage or schistosity under low to medium-grade metamorphic conditions. The metamorphic peak occurred between the first and the second folding events. During the F₂ phase tight folds developed on all scales, mainly with thickened hinges and with persistent axial-plane crenulation cleavage. The cleavage is frequently both microscopic and of the zonal type, with associated differentiated banding. To the F₃ phase a more spaced crenulation cleavage is related but not of the zonal type. The folds of this latter phase have great amplitude and wavelength, and introduced important undulations and neutral folds on the regional structures.

INTRODUÇÃO As similaridades litológicas e de grau metamórfico entre os Grupos Açungui e São Roque levaram no passado a uma tendência de abandono do nome São Roque (proposto por Moraes Rego em 1930), em virtude da prioridade do tempo Açungui (Oliveira 1927), que havia sido utilizado por Derby (1878) para distinguir uma série de rochas "não cristalinas" na região do Paraná. A tendência começou a reverter-se quando argumentos de ordem estrutural (Hasui 1975) indicaram histórias evolutivas distintas: as rochas do Grupo Açungui teriam sofrido três fases de deformação, enquanto que as do Grupo São Roque teriam sofrido a ação de apenas duas.

A busca de critérios mais pormenorizados para testar essa hipótese conduziu alguns pesquisadores do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) a um interesse pelo estudo estrutural do Grupo São Roque, em nível de detalhe e em áreas reduzidas. A análise estrutural deveria focalizar também a própria história metamórfica da unidade e seus produtos, bem como vincular nesse quadro de evolução tectônica os eventos magmáticos.

A área da faixa Jaraguá-Cristais foi estudada pelo primeiro autor, que apresentou tese de doutoramento ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (Carneiro 1983). Este artigo apresenta parte dos dados e resultados alcançados no estudo, pertinentes à reconstituição das fases de dobramento, padrões de superposição e estrutura geral da área.

A área estudada corresponde a uma faixa norte-sul, situada entre os municípios de São Paulo e Jundiaí (Fig. 1), que compreende uma exposição bastante completa das variações litológicas e metamórficas do Grupo São Roque. Acha-se também presentes amplos arqueamentos das estruturas dobradas e extensas intrusões granitóides. Algumas destas intrusões geraram feições dômicas de grande porte, como os granitos do Tico-Tico e de Taipas. São aspectos que justificam a escolha dessa faixa para estudos de caracterização tectônica do Grupo São Roque.

Figura 1 – Mapa de localização da faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais

HISTÓRICO SOBRE A DESIGNAÇÃO GRUPO SÃO ROQUE

Uma revisão histórica sobre a denominação Grupo São Roque permite situar a importância de estudos estruturais de detalhe na sua área de ocorrência.

Em 1930, Moraes Rego separou as rochas epimetamórficas de São Paulo do Complexo Cristalino, utilizando a denominação Série de São Roque, que segundo ele teria sido proposta, em 1923, por Gonzaga de Campos. Foi também Moraes Rego (1933) que procurou delimitá-las, descrevendo as faixas de ocorrência da unidade.

Por outro lado, foi no Paraná que Derby (1878) se referiu pela primeira vez à Série Assunguy, cuja idade foi interpretada como ordoviciano por Oliveira (1927). Mais tarde, em 1931-33, Leonardos & Guimarães (*apud* Paoliello 1964) correlacionaram a Série São Roque-Assunguy com a série inferior da Cordilheira do Espinhaço, de idade algonquiana.

O termo Série de São Roque ou Série São Roque foi utilizado por diversos autores, como Knecht (1943), Almei-

* Geólogo, Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo-IPT. Cx. Postal 7141, CEP 01000, Cidade Universitária, São Paulo, SP.

** Geólogo; até 1983, assistente-aluno do Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo - IPT

da (1955) e Franco (1958); tendo Coutinho & Takeda (1955) preferido adotar a designação Série Açungui para se referir às rochas metassedimentares da faixa entre São Paulo e Paraná. Considerando ainda pouco claras as relações estratigráficas entre ambas as unidades, Cordani *et al.* (1961) utilizaram o termo Série São Roque para as rochas ao norte da Capital.

A redefinição da Série Açungui, passando-a à categoria de grupo, foi feita por Marini *et al.* (1967). Modificação equivalente havia sido proposta para o Grupo São Roque, pelo Instituto Geográfico e Geológico (IGG) em seu mapa de 1963, conforme relata Paoliello (1964). A unidade estaria separada do Grupo Açungui, segundo Hennies *et al.* (1967), pelo Falhamento de Taxaquara.

Baseando-se em levantamentos geológicos realizados na região sul do Estado de São Paulo por Melcher e colaboradores, Coutinho (1971) propõe reunir as unidades do Pré-Cambriano Superior dos estados de São Paulo e Paraná. Vê ele nesses levantamentos uma demonstração da continuidade geográfica entre os grupos São Roque e Açungui e pondera que nestas condições deva prevalecer o nome Açungui, prioritário.

Procurando contribuir para a solução deste problema, Hasui (1973) estudou a região das folhas de São Roque e Pilar do Sul, onde estariam presentes ambas as unidades separadas por corpos graníticos e pelo Falhamento de Taxaquara. Nesse trabalho o autor concluiu não se justificar a divisão baseada em critérios geográficos, e mostrou padrões de dobramentos superpostos distintos a norte e sul da Falha de Taxaquara, ao longo de dois conjuntos de blocos, chamados respectivamente São Roque e Paranapiacaba por Hasui (1975). O Grupo São Roque teria apenas duas fases de deformação e estaria restrito ao primeiro conjunto. O Açungui, com três fases de deformação, estaria situado no Conjunto Paranapiacaba.

Numa revisão da bibliografia sobre a extensa Faixa de Dobramentos Ribeira, Hasui *et al.* (1975) propõem considerar o Grupo São Roque como distinto do Grupo Açungui e dele separado por grandes zonas de falhamento, pertencentes à Zona de Transcorrência São Paulo. O conceito foi ampliado para todo o Pré-Cambriano a oeste da capital por Hasui & Sadowski (1976), que subdividiram ainda o Grupo Açungui — com base na incidência ou não de migmatização — nos complexos Embú e Pilar, respectivamente, sem conotação estratigráfica. No mesmo ano, Hasui *et al.* (1976) propõem dividir o Grupo São Roque em duas formações: a inferior, de caráter mais psamo-pelítica, com intercalações de rochas vulcânicas na base e rochas carbonáticas em direção ao topo, seria denominada Formação Boturuna; e a superior, composta de filitos rítmicos e intercalações de quartzitos e filitos, denominada Formação Piragibu.

Silva *et al.* (1977) reafirmam a continuidade entre as unidades São Roque e Açungui, aproveitando a subdivisão litológica do Grupo Açungui adotada pela Protec (Melcher *et al.* 1973) e pela CPRM (Algarte *et al.* 1974, CPRM 1975). Destacam que uma das áreas-chave estaria situada a norte de São Miguel Arcanjo. Desta forma, esses autores utilizam a designação Grupo Açungui para toda a sequência epimetamórfica em São Paulo.

Em uma análise dos aspectos estratigráficos regionais pré-cambrianos da borda sul-sudeste do Cráton do São Francisco, Braun & Baptista (1978) distinguem duas se-

quências na região do Espinhaço, estendendo esses conceitos para a região da Serra do Mar e seu prolongamento para São Paulo e Paraná. A inferior seria principalmente vulcânica, com algumas intercalações arcóseo-quartzíticas provavelmente na parte superior, além de tufos e cineritos. Por sua vez, a sequência superior seria predominantemente sedimentar, arenítica, iniciando-se em geral por um conglomerado polimítico. Nas regiões paulista e paranaense, eles sugerem que a sequência inferior poderia estar representada pelos mármore, xistos e gnaisses associados, que constituem pelo menos parte dos grupos São Roque, Açungui e outras unidades. Na área de Apiaí, o Grupo Açungui estaria englobando uma série mais antiga, com predomínio de metavulcânicas filitizadas, e uma mais nova, restrita, com calcários e quartzitos.

Em 1980, Hasui *et al.* analisam as estruturas e a tectônica do Pré-Cambriano de São Paulo e Paraná, onde assinalam que a ausência de unidades superiores do Grupo Açungui para nordeste poderia ser explicada por um soerguimento diferencial durante o Fanerozóico. Ressaltam diferenças no estilo estrutural de ambos os grupos, que refletiria uma evolução tectogênica autônoma. Não obstante, essas evoluções seriam sincrônicas e estariam marcadas por três etapas durante o Ciclo Brasileiro: inicial, tecto-orogênica e de transição.

A subdivisão de complexos no Grupo Açungui e a sua separação do contexto do Grupo São Roque foram adotadas no Mapa Geológico mais recente do Estado de São Paulo (Bistrichi *et al.* 1981) e em sua Nota Explicativa (Almeida *et al.* 1981).

A partir dos dados do mapeamento geológico das folhas de Piracéia e Igaratá, Campos Neto *et al.* (1983) chegam a propor um esquema litoestratigráfico para o Grupo São Roque. A unidade seria composta por um pacote de anfíbolitos basais, sucedidos por metarritmitos com intercalações de hematita quartzitos, rochas cálcio-silicáticas e anfíbolitos. Acima dessas rochas ocorreriam metarcóseos rítmicos, metarenitos rítmicos, micaxistos e, no topo, filitos com intercalações de quartzitos. Os autores distinguem ainda outras unidades, que relacionam ao Ciclo Transamazônico.

Marini *et al.* (1967) aventaram a possibilidade da Formação Setuva, até então reconhecida como base do Grupo Açungui (Bigarella & Salamuni 1956), constituir na realidade uma unidade mais antiga. Essa possibilidade foi abordada de dois modos em 1971: para Fuck *et al.*, a formação, como descrita, deveria ser considerada pré-Açungui; para Ebert, apenas os gnaisses basais representariam o que chamou Grupo Pré-Setuva. A discussão foi retomada a partir de 1978. Existe concordância entre os numerosos autores quanto à existência de rochas pré-Açungui dentro do que se chamou originalmente Formação Setuva, a controvérsia deslocando-se para a posição do limite. Em essência, há autores que reforçam a concepção de Fuck *et al.* (1971), como Popp *et al.* (1979), Batolla Jr. *et al.* (1981), Fritzons Jr. *et al.* (1983) e Lopes (1983), enquanto outros mantêm a proposição de Ebert (1971), como Schöll *et al.* (1980), Piekarsz (1981), Silva *et al.* (1982) e JICA/MMAJ (1982).

Por outro lado, Schöll *et al.* (1980) julgaram que a Formação Água Clara, apresentada anteriormente como unidade superior do Grupo Açungui (Marini *et al.* 1967), também seria pré-Açungui, o que tem sido corroborado por diversos autores, como Biondi (1983).

Tem ocorrido reformulação também em relação à Formação Votuverava, habitualmente incluída no conjunto pré-Açungui em parte (Biondi 1983) — ou na sua totalidade (Hasui, em preparação).

Todas essas revisões do Grupo Açungui têm levado à redução da área dessa unidade, em favor de um conjunto litológico mais antigo a que se tem designado Complexo Setuva.

Hasui (1983) considera as seqüências Açungui e São Roque como refletindo duas bacias distintas, embora ressaltando seus aspectos muito parecidos de constituição, transformações minerais, deformações e incidência de granitóides brasileiros.

Esse apanhado mostra a evolução dos conhecimentos, que passaram do reconhecimento de duas unidades litoestratigráficas (São Roque e Açungui) para uma (Açungui), duas (Açungui e São Roque) e três (Açungui, São Roque e Setuva), para englobar os termos ectiníticos de São Paulo e do Paraná.

A separação das unidades baseia-se não só nas associações litológicas, mas principalmente nas estruturas internas.

PRINCIPAIS UNIDADES LITOLÓGICAS Nos mapas geológicos apresentados por Carneiro (1983), os corpos rochosos do Grupo São Roque mostram formas alongadas e contatos freqüentemente do tipo transicional, cujas orientações variam entre E-NE e E-W na porção norte da faixa, onde predominam filitos e xistos. Na porção sul as variações litológicas são mais acentuadas, com destacada presença de corpos metapsamíticos impuros e imaturos, como metarcóseos, metagrauvacas e metaconglomerados (Coutinho 1972). No domínio destas unidades os contatos litológicos descrevem ampla inflexão, passando de orientações E-W, na região do Jaraguá, até direções submeridianas, na região da Fazenda Itahyê, de onde infletem novamente para NW e E-W (Carneiro *et al.* 1984b). De um modo geral, na parte sul da faixa os corpos de rochas metamórficas possuem orientações segundo NW.

As rochas pré-São Roque, tidas como constituintes do embasamento desta unidade, englobando os gnaisses e migmatitos relacionados preliminarmente ao Complexo Amparo e os milonito-gnaisses e blastomilonitos dobrados.

No âmbito do Grupo São Roque, há seis conjuntos litológicos. A disposição, em termos de unidades principais, é discutida por Carneiro *et al.* (1984b). São eles, resumidamente:

- *metassedimentos detríticos com predomínio de metapsamitos impuros* - compreendem os metaconglomerados polimíticos; os metarenitos conglomeráticos; os metarcóseos, metarenitos e metagrauvacas; os xistos com intercalações de metarenitos e os metarenitos bandados;
- *metassedimentos detríticos com predomínio de metapsamitos puros* - correspondem aos quartzitos;
- *metassedimentos detríticos com predomínio de metapelitos* - são os micaxistos, xistos porfiroblásticos e filitos laminados;
- *metassedimentos químicos e químico-detríticos* - correspondem aos mármore, calcários e dolomitos, e às rochas cálcio-silicáticas bandadas, que poderiam representar antigas margas com alguma contribuição de origem tufácea;
- *anfibolitos metabásicos* - são rochas em que é admitida origem a partir de metamorfismo de rochas ígneas básicas, compreendendo os anfibolitos e os anfibolitos bandados;

- *rochas metavulcânicas e subvulcânicas hipobássais* - duas grandes categorias se incluem neste conjunto, a saber: as rochas metavulcânicas básicas amigdaloidais e as rochas subvulcânicas riodacíticas, metamorfizadas.

Os granitos e granitóides cortam as demais unidades discordantemente, constituindo corpos de dimensões variadas e formas irregulares. Sua presença é mais acentuada na porção sul da faixa Jaraguá-Cristais. A classificação dos corpos (Carneiro 1983, Carneiro *et al.* 1984a) pode ser feita com base principalmente em caracteres petrográficos e em suas relações com as estruturas geradas pelas várias fases de dobramento. Muitos veios pegmatíticos, não mapeáveis na escala 1: 20 000, cortam as rochas metamórficas da área, sendo possível classificá-los com base nos mesmos critérios.

As faixas cataclásticas são representadas na área por uma extensa zona de falhamento separando os batólitos de Itaquí e da Cantareira. Na porção norte da área, as faixas cataclásticas do final do Ciclo Brasileiro são bastante discretas.

As coberturas cenozóicas compõem na forma de restos de coberturas correlatas à Formação São Paulo, depósitos descontínuos de natureza aluvionar, colúvio-aluvionar e de tálus.

ESTRUTURAS As estruturas observadas podem ser classificadas como primárias, foliações plano-axiais, lineações, dobras e falhas.

Estruturas primárias Com uma freqüência muito menor do que a desejável, em vista da importância das estruturas primárias para a determinação de polaridade estratigráfica das camadas, diversas estruturas primárias puderam ser identificadas na faixa Jaraguá-Cristais.

A variação composicional é evidenciada na maior parte dos filitos e nos calcários (Fig. 2) por variações de coloração.

Figura 2 — Calcários afetados por duas gerações de dobras, onde as variações de cor assinalam a estratificação reliquiar: 1) calcário cinza-médio; 2) calcário cinza-escuro. Ponto na estrada Cajamar - Santana de Parnaíba. Desenhado a partir de fotografia.

Observam-se ainda feições como mudanças de granulação em materiais sedimentares, estratificação gradual, cruzada e rítmica, como ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Sinclinal de primeira geração em filitos bandados rítmicos, com clivagem ardosiária plano-axial: 1) polaridade de camadas (setas) indicada por estratificação gradual em metapsamitos; 2) planos de estratificação cruzada; 3) bandamento diferenciado. Ponto na Estrada Velha de Campinas. Desenhado a partir de fotografia.

O bandamento composicional é a feição mais frequente em metassedimentos, destacadamente nos metapelitos. Onde feições sedimentares aparecem associadas, é possível considerá-lo como estratificação reliquiar. Esta certeza não existe quando elas não estão presentes, admitindo-se a possibilidade de o bandamento ser produto da transposição ligada à fase F_1 (adiante descrita). Neste caso, utiliza-se a notação S_0/S_1 para assinalar a feição, que pode ser estratificação reliquiar ou uma foliação metamórfica ou tectônica.

Foliações plano-axiais Diferentes tipos de clivagem foram reconhecidos. As mais comuns são a clivagem ardosiária ou xistosidade, clivagem de crenulação e clivagem de fratura. Uma análise mais completa sobre a questão da terminologia de foliações plano-axiais na faixa Jaraguá-Cristais encontra-se em Carneiro *et al.* (1984c). Cabe destacar, na

região em foco, os caracteres principais das foliações.

A clivagem ardosiária (S_0) ou xistosidade (X) é definida essencialmente pela orientação regular de minerais placóides, como os filossilicatos, ou minerais granulares inequidimensionais. A separação entre ambas as feições é algo arbitrária, tendo sido adotado o critério de Hobbs *et al.* (1976), que considera a xistosidade apenas para rochas onde os minerais são visíveis à vista desarmada.

A clivagem de crenulação 1 (S_2) é uma foliação de ocorrência generalizada na faixa, bem reconhecível ao nível microscópico, pois se define como flancos de dobras de comprimento de onda extremamente pequeno, da ordem de décimos de milímetros, em geral. Um bandamento diferenciado está geralmente associado, o que facilita a identificação de S_2 nos afloramentos (Fig. 3).

A clivagem de crenulação 2 (S_3) tem espaçamento visível nos afloramentos, o que permite sua identificação já no campo. A ausência de bandamento diferenciado estabelece outro critério para sua distinção da clivagem S_2 .

A clivagem de fratura (S_f) é uma clivagem não penetrativa nos afloramentos, possui um aspecto mais descontínuo e um espaçamento variável entre os planos. Este é sempre inferior a 5 cm e espaçamentos maiores foram relacionados a juntas.

Lineações Diversos tipos de elementos lineares de trama estão reunidos sob esta designação. Além dos eixos de dobras nas rochas do Grupo São Roque, as mais comuns são as lineações de crenulação, as lineações de interseção e alguns exemplos de lineações minerais. Nos domínios de rochas miloníticas foram observadas lineações frequentes, vinculadas aos processos de movimentação.

As lineações de crenulação correspondem às linhas de charneira de dobras de crenulação, desenvolvidas ao longo das superfícies afetadas por esse dobramento de pequena escala.

Lineações de interseção podem aparecer quando dois planos de foliação se cruzam ou quando uma foliação corta a estratificação reliquiar. Nos mapas geológicos e no tratamento estatístico de dados estruturais, as lineações de interseção tiveram esse nome restrito a interseções entre S_1 e S_0 (L_1), sendo as demais referidas como lineações de crenulação 1 (L_2 , geradas por S_2) ou lineações de crenulação 2 (L_3 , geradas por S_3). Tal restrição é muito útil para a interpretação dos dados, pois são pouco numerosos os afloramentos onde a clivagem ardosiária é oblíqua à estratificação reliquiar, diminuindo a ocorrência das lineações de interseção. As demais lineações são relacionadas às clivagens correspondentes, para efeito de interpretação.

Lineações minerais são pouco comuns nas rochas da faixa Jaraguá-Cristais, com exceção dos metaconglomerados polimíticos, onde ocorre uma típica lineação de estiramento definida pelo alongamento de cristais ou grãos minerais. As zonas de milonitos, blastomilonitos e milonito-gnaisses mostram outro tipo de lineação mineral, uma vez que são estruturas lineares definidas pela orientação preferencial linear de grãos inequidimensionais, ou por agregados minerais alongados.

Dobras Em sistemas dobrados, os atributos essenciais para descrição do estilo das dobras são: a morfologia e a natureza da foliação plano-axial, quando presente; as características das lineações associadas; forma das dobras em per-

fil; seu caráter cilíndrico ou não; e a geometria dos elementos das dobras. Outros aspectos, como padrões de orientação, são de importância menor na definição do estilo, embora possam dar subsídios à separação de dois grupos de dobras entre si. Nesse sentido, a utilização dos grupos de estilo para se determinar as fases de dobramento de uma dada área sofre algumas restrições, pois como dobras de gerações diferentes podem apresentar estilos similares (Williams 1970), os padrões de superposição e orientação devem ser adicionalmente considerados.

GRUPO DE DOBRAS D_1 Compreende as dobras desenhadas pela estratificação reliquiar, às quais se associa clivagem ardosiana ou xistosidade. Seus ápices são raramente observados (Fig. 2), e as melhores exposições encontram-se no trecho entre Franco da Rocha e Francisco Morato (Fig. 3). Evidentemente, as dobras D_1 são as mais antigas, pois afetam exclusivamente a estratificação reliquiar ou o bandamento composicional.

São dobras em geral fechadas e cerradas, possivelmente até isoclinais, de ápices espessados, correspondendo à classe 1C de Ramsay (1967). As dimensões variam de centimétricas a métricas, não tendo sido possível inferir estruturas de maior porte dentro desse grupo, pois para reconstituí-las através de dados de vergência é necessário haver variações pouco significativas das superfícies plano-axiais; isso não ocorre, devido ao redobramento. Admite-se que parte das dobras D_1 possa ser de caráter intrafolial, indicativo de transposição.

GRUPO DE DOBRAS D_2 As dobras desse grupo são as mais comuns nos afloramentos da área. As superfícies afetadas são em geral o bandamento composicional, a estratificação reliquiar e a clivagem ardosiana ou xistosidade. A foliação plano-axial é a clivagem de crenulação 1 (S_2).

Suas escalas variam desde a centimétrica até a decamétrica. Em muitos afloramentos, essas dobras têm um caráter cilíndrico, mas essa não é uma feição característica. Os perfis são abertos a fechados, com ápices arredondados a subangulosos, em geral espessados (Figs. 4 e 5), ficando na classe 1C de Ramsay (1967).

Figura 4 – Dobras D_2 fechadas a cerradas em quartzitos bandados, onde os planos axiais são suavemente ondulados por efeito de dobras D_3 , Taipas. Desenhado a partir de fotografia.

Figura 5 – Perfil de dobra D_2 com ápice espessado, do tipo mais comum nos afloramentos. Fazenda Itahyê. Desenhado a partir de fotografia.

Nos calcários, as dobras podem ser isópacas até ligeiramente espessadas nos ápices (Fig. 2). Não foram encontrados *kink-bands* nesse grupo. *Boudinage* em camadas mais competentes foi observada em alguns afloramentos.

Dobras maiores relacionadas ao grupo D_2 foram também reconstruídas através de medidas tomadas em afloramentos sucessivos. A observação sistemática das relações entre a clivagem plano-axial (S_2) e a clivagem dobrada permitiu situar, num determinado afloramento – dependendo da intensidade dos redobramentos – para qual lado está a antiforma daquela fase (vergência).

GRUPO DE DOBRAS D_3 As dobras D_3 apresentam-se como dobras abertas a suaves, isópacas a localmente anisópacas e em alguns casos desarmônicas. Suas dimensões são centimétricas, métricas ou até hectométricas. Em muitos afloramentos foi observada uma foliação em posição plano-axial a essas dobras, configurada por clivagem de crenulação (S_3), ou uma clivagem de fratura com distribuição em leque nos ápices dessas dobras (S_f).

GRUPO DE DOBRAS D_4 Restritas a um determinado tipo litológico, os anfíbolitos bandados, dobras de uma morfologia bastante particular foram encontradas na área. São dobras de dimensões centimétricas a decimétricas, desarmônicas, que afetam as bandas desses anfíbolitos. Tais dobras formaram-se após o desenvolvimento de pequenas juntas ou clivagens de fratura nos anfíbolitos, pois os planos mostram-se afetados pelo dobramento, seja ondulando-se suavemente, seja movimentando-se na forma de pequenas falhas (Fig. 6). As juntas ou clivagens de fratura não são penetrativas nos afloramentos e sua distribuição é restrita a certas camadas de cores de alteração pardo-esverdeadas e negras. Não se observa uma foliação plano-axial associada a tais dobras desarmônicas. Alguns *kink-bands* locais afetando a clivagem S_3 ocorrem também na região das fazendas Itahyê e Tamboré.

Figura 6 – Dobras desarmônicas D_4 com planos axiais sub-horizontais afetando anfibólitos bandados (1). Algumas “camadas” possuem juntas anteriores ao dobramento, às vezes reativadas como falhas. Mesmo local da Figura 2. Desenhado a partir de fotografia.

Falhas As falhas constituem estruturas de destaque relativo na área. Foram distinguidas falhas transcorrentes e falhas de gravidade.

Os falhamentos transcorrentes de Jundiuvira e da Vila Baronesa são as feições desse tipo mais expressivas da área estudada. Colocam em contato as rochas gnáissicas ou granitóides com os metamorfitos do Grupo São Roque, e truncam parcialmente as estruturas regionais. Apresentam-se melhor desenvolvidas nas rochas granitóides do que nas metamórficas.

Na região do Falhamento de Jundiuvira, ou do ramo deste falhamento que atravessa a porção norte da faixa estudada, há outros pequenos falhamentos associados, formando uma rede anastomosada que define segmentos lenticulares de rochas pré-cambrianas.

Embora dependente de estudos adicionais de detalhe, a existência de dobras D_2 afetando milonitos na porção setentrional da faixa indica que os fenômenos de milonitização têm história mais complexa do que se supunha, podendo-se admitir a incidência de deslocamentos de baixo ângulo anteriores pelo menos ao dobramento que gerou D_2 .

PADRÕES DE SUPERPOSIÇÃO DE ESTRUTURAS

Os critérios de superposição constituem a fundamentação mais relevante para a datação relativa de estruturas em rochas deformadas (Ayrton & Ramsay 1974). Compreendem um conjunto extremamente diversificado de situações geológicas que podem se manifestar em qualquer escala, desde a microscópica até a megascópica.

A análise das relações entre as diferentes estruturas das escalas micro, meso e macroscópica deu-se em quatro níveis:

- a) verificação de padrões de interferência de dobras em diversos afloramentos;
- b) observação de relações de superposição micro ou mesoscópica entre as clivagens plano-axiais aos grupos;
- c) levantamento de detalhe de certos afloramentos e mapeamento de formas dobradas;
- d) estudo estatístico de determinados domínios homogêneos da área.

Nestes dois últimos casos utilizam-se usualmente os chamados critérios de orientação, o que requer uma abordagem estatística. Da mesma forma, a análise dos elementos microestruturais para aplicação de critérios de superposição guarda uma série de cuidados e tem características próprias como campo de estudo (microtectônica), de tal sorte que os resultados estão em outro trabalho (Carneiro *et al.* 1984c).

Clivagens superpostas a estruturas mesoscópicas A Figura 3 apresenta um sinclinal do grupo de dobras D_1 , onde aparece de modo muito claro um forte bandamento diferenciado cortando todo o pacote; esta clivagem é referida ao grupo de dobras D_2 . A mesma feição pode ser verificada nos cortes da Via Anhangüera, a sul da saída de Cajamar, na pista Jundiá-São Paulo (Fig. 7). Neste perfil observa-se que uma clivagem de crenulação zonal aparece em todo o corte, em posição tal que denota a presença de um flanco invertido de uma ampla antiforma D_2 , cuja charneira estaria situada para N. As dobras presentes são referíveis na maior parte ao grupo D_2 , porém no centro do perfil da Figura 7 observa-se uma dobra D_1 com xistosidade em posição plano-axial. Ondulações menores pertencentes ao grupo de dobras D_3 são também visíveis, em particular nos esquemas destacados.

A presença de uma clivagem de crenulação superposta a dobras D_1 foi verificada num afloramento de rocha decomposta na estrada para Botujuru, na porção norte da área. Nesta seção, as dobras D_2 são muito bem caracterizadas, na forma de dobras fechadas de ápices espessados. Na Figura 8, dobras D_1 recumbentes e desarmônicas são afetadas por um persistente sistema de clivagem ressaltado por delgadas lâminas de argila branca, formadas pelo intemperismo e percolação d'água. A orientação dessa clivagem é a mesma encontrada para S_2 em todo o trecho.

Em muitos afloramentos de filitos e metarenitos finos, é possível observar - numa mesma amostra - clivagens de crenulação em planos que formam relações angulares verticais. Quando tais situações são encontradas, é preciso lançar mão de critérios de orientação, além de outros aspectos morfológicos distintivos das dobras associadas. Num breve resumo da situação normalmente verificada entre clivagens S_2 e S_3 , em escala mesoscópica, podem ser definidos três tipos de áreas na região estudada:

- a) S_2 e S_3 subverticais e dispostas a ângulos retos entre si, na parte centro-norte da faixa;

Figura 7 – Relações entre diferentes foliações e dobras dos grupos D_2 e D_3 , ao longo de perfil na Via Anhangüera, após o acesso de Cajamar, na pista Jundiá-São Paulo. 1) veios e bolsões pegmatíticos; 2) banda cálcio-silicática (?) alterada; 3) metarenitos com freqüentes intercalações de xistos e níveis de estauroлита-moscovita xistos.

Figura 8 – Perfil de dobra D_1 cortada por planos de foliação S_2 . Ponto na estrada Francisco Morato-Botujuru. Desenhado a partir de fotografia.

- b) S_2 com mergulhos baixos e S_3 subverticais, formando, como no caso anterior, ângulos retos ou próximos de 90° na região da Via Anhangüera, a NW do Pico do Jaraguá;
- c) S_2 com atitudes bastante variáveis e fortemente dobradas por dobras do grupo D_3 , ou afetadas por S_3 , na forma de *kink-bands*. Esta é a situação encontrada na região da Fazenda Tamboré (vide Fig. 16).

Interferência de dobras Os padrões de interferência de dobras são bem definidos para os casos onde as duas gerações que se interferem, encontram-se na mesma escala. Para tais situações, o esquema de Ramsay (1967) é o mais conveniente.

DOBRAS DE MESMA ESCALA Na escala de afloramento, muitas são as situações onde se verificam padrões de interferência enquadráveis nos tipos 1, 2 ou 3 (Ramsay 1967, p. 531). O tipo 2 é geralmente o mais comum na área.

A Figura 9 corresponde a detalhe de um corte, no qual o padrão de interferência de dobras aproxima-se do tipo 2, embora a S_2 apareça no desenho em mergulho aparente, sub-horizontal. No afloramento, as atitudes dessa foliação têm mergulhos acentuados ($160/75$), do mesmo modo que o caimento das dobras D_1 , que foram redobradas.

Os mais completos exemplos de padrões de interferência encontram-se em loteamento abandonado a W de Caieiras, onde as ruas, em processo de franca erosão, expõem dobras de diferentes escalas e pertencentes a diferentes grupos. Na Figura 10 tem-se uma grande estrutura em laços, causada por ondulação dos planos axiais do grupo D_2 . Sua variação de orientação é notável: a S_2 passa de E-W no alto do desenho para direções NNE na parte central e inferior. Uma clivagem de fratura de direção quase N-S coloca-se em posição plano-axial à ampla ondulação D_3 ali verificada. No destaque inferior do desenho, observam-se dobras D_1 com clivagem ardósiana plano-axial.

A Figura 10 contém no centro superior esquerdo um destaque, que exibe um padrão de interferência típico em cogumelos (tipo 2). O desenho é uma visão em perspectiva de uma parede de canaleta d'água aberta pela erosão em filitos laminados, com intercalações de metarenitos e quartzitos. Foi obtido a partir de fotografias.

Figura 9 – Padrão de interferência de dobras próximo ao tipo 2 de Ramsay (1967) entre dobras D_1 e D_2 . 1) filitos laminados, bandas escuras; 2) filitos laminados, bandas claras; 3) bandamento diferenciado; 4) bandas quartzosas; 5) fratura. Ponto na estrada de Campo Limpo. Desenhado a partir de fotografia.

DOBRAS DE ESCALAS DIFERENTES

Na escala mesoscópica, é muito comum serem vistas dobras de dimensões diferentes, excluindo-se aí os frequentes casos onde minúsculas dobras de crenulação afetam flancos de estruturas maiores, cujos exemplos são incontáveis e também pertencem a este grupo de interferências.

Um exemplo de interferência de dobras D_2 de tamanho pequeno sobre uma clivagem ardosiana previamente desenvolvida pode ser observado em poucos afloramentos da região do Bairro do Jaraguá. Há casos em que o bandamento composicional não foi afetado pelas dobras, porque elas têm planos axiais paralelos às camadas.

As dobras D_3 são em geral de escala maior (tamanho maior) que as demais, o que dificulta a observação de padrões de interferência tais como acima referidos. Em certos

Figura 10 – Interferência de dobras em loteamento abandonado próximo a Caieiras.

locais, como na Figura 10, ocorrem ondulações nas charneiras ou planos axiais de dobras anteriores. Num mesmo afloramento é comum ser possível separar as dobras D_3 das anteriores com base na sua morfologia, aberta e às vezes isóptica. Os dados de orientação também podem contribuir nesse sentido. A deformação de planos S_3 originando *kink bands* foi observada muito localmente.

MAPEAMENTO DE FORMAS DOBRADAS EM DETALHE

A escala macroscópica em análise estrutural, segundo Turner & Weiss (1963), trata de configurações grandes demais para serem estudadas num só afloramento ou aborda o arranjo espacial de estruturas mesoscópicas dentro de corpos grandes de tectonitos.

Tomando-se os diagramas da Figura 11, tem-se uma visão das relações analíticas obtidas sobre as superposições de dobramentos sucessivos. Este exemplo é particularmente útil para demonstrar padrões de interferência dos tipos 2 e 3 de Ramsay (1967), entre os grupos de dobras D_1 e D_2 , mas ilustra também o aspecto mesoscópico das dobras D_1 pouco deformadas, afetando a estratificação reliquiar.

As dobras D_1 na Figura 11 são fechadas e de ápice espessado. Os contatos geológicos e as atitudes foram levantados em escala original 1: 200, aproveitando-se a existência de uma demarcação de lotes no terreno, cuja superfície é suave devido à terraplenagem. A ação da erosão, no loteamento quase abandonado, ressaltou os contatos entre as camadas,

os níveis de quartzitos metamorfizados e as falhas.

As dobras D_1 são harmônicas a localmente desarmônicas, reclinadas, ou com charneiras e planos axiais inclinados. Para conhecer seus perfis, é necessário recorrer a construções geométricas tais como as descritas por Badgley (1959) e Ragan (1973). Como há uma grande variação de atitudes das charneiras de dobras D_1 neste afloramento, a reconstituição é aproximada e os traços axiais, obtidos nos perfis através da união dos pontos de máxima curvatura, guardam boa correspondência com as linhas que unem os pontos de máxima curvatura em planta (Fig. 11). Para dobras similares ou próximas a isso, em regiões planas, como o presente caso, tal correspondência permite falar em traços axiais de dobras também nas construções em planta.

As dobras D_2 possuem planos axiais subverticais e charneiras inclinadas e apresentam-se como suaves ondulações, nos flancos das dobras D_1 . Acompanhando-se os traços axiais das dobras D_2 pode-se verificar que são ondulações muitas vezes restritas.

O tratamento estatístico dos dados de bandamento composicional (estratificação reliquia?) mostra uma forte dispersão dos dados em torno de uma faixa que, aproximadamente, situa-se em círculo máximo. A distribuição chega a

esboçar uma guirlanda, cuja dispersão é explicável pelo redobramento ocorrido. A clivagem ardosiana é em geral paralela ao bandamento, porém no diagrama correspondente foram apenas lançadas atitudes de clivagem ardosiana discordante do bandamento, situado em zonas de charneira de dobras. Nestes locais, a observação dessa clivagem é bastante dificultada pelo tipo de rocha, que compreende rochas cálcio-silicáticas bandadas bastante alteradas.

Os dados de clivagem de crenulação S_2 e S_3 mostram maior dispersão de atitudes para S_2 , sem, no entanto, descrever uma guirlanda. A última clivagem de crenulação exibe orientação preferencial no diagrama respectivo, obedecendo a direções NE, que se mantém a nível regional.

A Figura 11 apresenta, ainda, os dados de lineações, onde se observa um dobramento de L_1 , que descreve uma guirlanda no estereograma, com S_2 em posição plano-axial. Essa feição, portanto, sendo convenientemente amostrada, independe das zonas de alta ou de baixa estabilidade axial (Ramsay 1967) para exibir redobramento. Os dados de L_2 concentram-se segundo um máximo, enquanto que os dados de L_3 exibem variações, que não podem ser tomadas como guirlandas. Tal distribuição apenas reflete a interseção de planos S_3 com superfícies variadamente orientadas.

Figura 11 – Mapa de detalhe de formas dobradas em loteamento no Bairro do Jaraguá e tratamento estatístico

ESTUDO ESTATÍSTICO DE DETERMINADOS DOMÍNIOS HOMOGÊNEOS

NIOS HOMOGÊNEOS Com base nos critérios definidos por Turner & Weiss (1963), delimitaram-se, na região estudada, vários domínios homogêneos, cujos dados foram submetidos a tratamento estatístico, assinalados na Figura 12. Nas Figuras 13 e 14 encontram-se os diagramas estereográficos preparados por computador, utilizando o programa elaborado pelo IPT (1982), que se encontra publicado (Yamamoto & Pereira Jr. 1984). A interpretação dos domínios é exposta por grupos de domínios, quando forem comparáveis, ou por domínios individuais, quando seus resultados não podem ser extrapolados para domínios adjacentes.

Figura 12 – Domínios homogêneos para análise estatística

Domínios A e B: Botucavuru e Barreiro Nestes domínios, a clivagem de crenulação zonal S_2 apresenta-se associada a uma forte transposição de S_0/S_1 , devida a dobramentos. Os diagramas de S_2 esboçam guirlandas em ambos os domínios, porém com maior consistência do Domínio A (Fig. 13), pois em B há um predomínio de atitudes de S_2 em torno de direções E-W, com mergulhos para S. As clivagens S_3 mostram-se orientadas de modo uniforme, situando-se em posição plano-axial às dobras evidenciadas pelas guirlandas. As orientações médias de S_3 dispõem-se segundo direções E-W a WNW. Os eixos de dobras D_2 e as lineações L_2 variam do Domínio A para o Domínio B; os mergulhos

são em geral suaves, porém fazem-se para NE no Domínio A e tornam-se predominantes para WSW no Domínio B. A distribuição em aparente guirlanda dos dados de L_3 , apenas indica a superposição de D_3 em estruturas anteriormente dobradas. A Figura 13 (A+B) é um resumo das duas anteriores, contendo os dados de ambos os domínios.

Figura 13 – Dados de orientação relativos aos domínios de A a F.

Domínios C e D: Tamboré e Oleoduto Neste domínio (Fig. 13) também ocorre a forte imposição de S_2 sobre as estruturas anteriores, associadas a uma transposição, tal como nos domínios A e B. Algumas dobras D_1 foram observadas em pontos isolados, porém na escala macroscópica os diagramas de S_1 mostram guirlandas, ou seja, as dobras D_1 foram redobradas. As guirlandas de S_1 têm alguma dispersão e a S_3 não se situa em posição plano-axial a elas, o que sugere serem devidas ao dobramento D_2 . Os dados de S_2 , por sua vez, são mais concentrados em certas orientações médias NE, com mergulhos inclinados, embora ainda possam sugerir distribuições ao longo de círculos mínimos, o que corresponderia a dobras cônicas D_3 . Os dados de S_3 apenas mostram uma suave mudança de orientação de um domínio para o outro. Em resumo, nos domínios C e D a estratificação reliquiar, a clivagem ardosiada e a clivagem de crenulação S_2 não podem ser considerados elementos de trama do domínio, no sentido de Turner & Weiss (1963).

Os dados de L_1 , em virtude dos efeitos de transposição, tiveram prejudicado seu tratamento estatístico. As lineações L_2 mergulham principalmente para SW no Domínio C e

passam a mergulhar para NW ou NE no Domínio D, descrevendo uma clara distribuição em guirlanda. É nesta região das fazendas Itahyê e Tamboré que ocorre a formidável mudança de orientação da foliação plano-axial S_3 , onde ela passa de direções E-W ou WNW para direções ENE ou NE. Esta passagem será descrita no item seguinte, pois a região foi estudada com mais detalhe.

Domínio E: Polvilho A mesma relação exposta no item anterior para as dobras D_1 é verificada neste domínio, e os dados de S_1 mostram uma certa dispersão, apenas esboçando guirlandas (Fig. 13). Os dados de S_2 já passam a ter uma orientação preferencial próxima a NW e mergulhos subverticais. Os valores de S_3 são insuficientes para caracterizar orientações preferenciais. Os mergulhos das charneiras de dobras D_2 e D_3 , indicados pelas lineações de crenulação correspondentes, sugerem uma certa coaxialidade, pois as orientações são muito próximas.

Domínio F: Santa Fé A Figura 13 apresenta os diagramas obtidos para este domínio, onde apenas a S_3 mostra uma bem definida direção preferencial segundo NE. Os dados de S_1 esboçam uma guirlanda, atribuível a dobras D_2 , porém os dados de S_2 mostram duas concentrações precárias. É possível que isto seja devido também a redobramentos, ou a uma abertura em leque desta foliação plano-axial em torno das dobras D_2 na área. A Figura 13 mostra, além disso, que neste domínio ocorre uma mudança de direção dos traços axiais das dobras D_2 , de NW para E-W, até finalmente adquirirem direções ENE na parte oriental.

Domínio G: Jaraguá Os dados do ponto onde foram feitos levantamentos de detalhe das formas dobradas (Fig. 11) não foram incluídos neste domínio, para evitar um desequilíbrio na amostragem, pois o número de medidas feitas nesse ponto supera de longe aquelas obtidas em qualquer outro domínio.

As atitudes de S_1 apresentam uma certa dispersão nos diagramas (Fig. 14), bem como os dados de S_2 . As atitudes de S_3 , a exemplo do Domínio F, ficam bem concentradas ao longo de uma direção média NE. Os dados de lineações são insuficientes para permitir conclusões.

Domínios H e I: Caieiras e Córrego do Félix Em ambos os domínios, situados na porção norte, os diagramas (Fig. 14) ilustram a persistência da orientação preferencial de S_2 e guirlandas, com razoável dispersão, dos valores de S_1 . Os dados de S_3 são insuficientes para definir orientações preferenciais. No Domínio H a L_2 mostra uma evidente distribuição em círculo mínimo, certamente causada pelas suaves ondulações introduzidas por D_3 na região, fato que pode ser observado em mapas, através da forma das dobras D_2 interpretadas (Carneiro 1983).

Domínios J e K: - Fazenda São Roque e Bairro do Moinho

A existência de dobras D_1 nestes domínios é indicada pelos poucos afloramentos onde ocorre S_1 oblíqua a S_0 . Os dados de S_1 nos diagramas apresentam-se dispersos, esboçando guirlandas, nas quais a clivagem S_2 encontra-se em posição plano-axial. Nos dois casos esta superfície define uma orientação preferencial e, portanto, há pequena influência de dobras D_3 sobre os planos S_2 . O redobramento D_3 fica evidente pela distribuição de lineações L_2 . A super-

fície S_3 ocorre na forma de clivagem de fratura, orientada segundo NNW.

Figura 14 – Dados de orientação relativos aos domínios de G a M.

Embora distantes, ambos os domínios ilustram para L_2 uma distribuição que sugere guirlandas, causadas provavelmente pelo redobramento introduzido por D_3 . A Figura 15 ilustra a situação observada num trecho de estrada, onde dobras D_2 foram dobradas pelo grupo D_3 , o que pode ser facilmente observado através das charneiras L_2 .

Figura 15 – Dobra D_3 afetando eixos de dobra L_2 , em estrada secundária interrompida. Ponto na Serra dos Cristais.

Domínios L e M: Francisco Morato e Franco da Rocha

Nestes domínios (Fig. 14) a clivagem ardósiana (S_1) descreve guirlandas, e os dados de S_2 revelam atitudes inclinadas, porém bastante variáveis. Pode-se deduzir que a presença

de ondulações D_3 é pouco acentuada, apenas identificada através de clivagens de crenulação ou de fratura orientadas a NW, pertencentes a essa fase. Os dados de lineações não chegam a descrever guirlandas. Há orientação preferencial das charneiras de dobras D_2 e lineações L_2 segundo a direção ENE, com mergulhos suaves quer para NE, quer para SW.

RECONSTITUIÇÃO DE DOBRAS MAIORES NA ÁREA ITAHYÊ-TAMBORÉ

A área situada a S do Morro do Polvilho, que na maior parte compreende áreas de reserva florestal pertencentes à grande Fazenda Itahyê, foi objeto de um estudo de maior detalhe que as demais porções da faixa. O estudo, efetuado na escala 1:10.000, foi motivado pela presença de um dobramento forte das clivagens de crenulação diferenciadas S_2 que, conseqüentemente, causou uma intensa deformação em todas as estruturas anteriores a D_2 .

Para reconstituir dobras maiores pertencentes a uma determinada fase, o lançamento dos dados estruturais foi feito em aproximações sucessivas, por tentativa e erro. Verifica-se que as charneiras de dobras D_2 apresentam na área uma tendência a se distribuir na forma de extensos arcos abertos (Fig. 16). No interior desses arcos, o mergulho das charneiras é muito regular e sempre no mesmo sentido. A ver-

gência é entendida nesse caso como a orientação para a qual se situa a zona de charneira de uma dobra, e deduzida a partir das relações entre a foliação plano-axial e superfície dobrada ou através de dobras parasíticas. Com os dados de vergência é possível determinar-se a posição de antiformas e sinformas dos grupos D_2 e D_3 .

O padrão verificado é semelhante ao descrito por Ramsay (1960, Fig. 8), na área próxima à vila de Arnisdale, na parte setentrional dos *Highlands* da Escócia, onde uma terceira fase gerou cinco dobras principais de charneiras sub-horizontais e com planos inclinados para E. Nessa região a distribuição de charneiras de dobras de segunda fase, ou seja, da fase imediatamente anterior, orienta-se em planta na forma de extensos arcos. Sua distribuição nas projeções estereográficas, contudo, mostra uma concentração marcante ao longo de um círculo máximo (guirlanda de L_2). Segundo aquele autor, este padrão é característico de um dobramento similar, que teria sido desenvolvido durante a terceira fase.

No exemplo estudado, pode-se analisar a distribuição das charneiras de dobra e das lineações de crenulação L_2 em estereogramas. Na Figura 13 encontram-se os elementos de subtramas de dois domínios envolvidos (Oleoduto e Tamboré). Para facilidade de apresentação, alguns daqueles dados foram reunidos sob a forma de um diagrama sinótico, na

Figura 16 - Esboço estrutural das dobras regionais D_2 e D_3 na região das fazendas Itahyê e Tamboré

Figura 17. A distribuição de charneiras de dobras D_2 e lineações correspondentes se dá ao longo de um círculo máximo médio, que tem, em posição axial, um plano que é correlacionável à média dos valores de S_3 . Com base nestes dados, pode-se inferir que o mecanismo de dobramento D_3 na região foi provavelmente similar.

O padrão de interferência que se pode deduzir entre tais orientações de dobras maiores D_2 e D_3 é do tipo 2 de Ramsay (1967), cogumelos. Em escala tão ampla, um padrão como este só poderia ser visualizado em mapas. Com efeito, observando-se o mapa geológico simplificado da faixa, contido em Carneiro *et al.* (1984b), nota-se que o padrão de afloramento das rochas metareníticas, recobertas em geral por filitos laminados, obedece a uma forma ovalada, com extensas reentrâncias no domínio dos filitos.

Finalmente, cabe salientar que a região é uma área-chave para compreender como se dá a variação nas atitudes dos planos axiais D_3 e clivagens S_3 regionalmente, pois é nesta zona que as atitudes passam a WNW para NE ou NNE. A grande inflexão referida na análise dos domínios Tamboré e Oleoduto pode ser atribuída à movimentação tardia de porções de massas de rochas graníticas, associadas a algum deslocamento ao longo da extensa zona de falhamento que limita a N o Batólito do Itaqui.

Figura 17 – Diagrama sinótico de dados dos domínios Itaqui e Tamboré

FASES DE DEFORMAÇÃO

As descrições e interpretações feitas nas escalas mesoscópica e macroscópica permitiram separar, quanto ao estilo e de modo efetivo, quatro grupos de dobras (D_1 , D_2 , D_3 , D_4) na área estudada.

As evidências de superposição são ainda pouco consistentes entre os grupos de dobras D_1 e D_2 , porém as relações entre as foliações plano-axiais demonstram seguramente que as dobras do segundo grupo redobram as do primeiro. As atitudes dos eixos de dobras D_2 e lineações correspondentes têm geralmente baixo mergulho, o que sugere que as dobras D_1 teriam um caráter recumbente antes do redobramento.

As dobras do grupo D_1 , em uma alternativa de interpretação, podem ter sido de escala maior (tamanho maior) que as do grupo D_2 , sobre as quais estas se sobrepõem afetando a estrutura geral. Deste modo, conforme sublinhado por Roberts (1977), não seria de se esperar que estas estruturas mostrassem freqüentes padrões de interferência nos afloramentos.

Outra alternativa é D_1 representar feição de um evento de deformação de tipo diferente de dobramento linear. Resta, ainda, a possibilidade de as dobras enfeixadas como D_1 serem de dois tipos distintos, mas avanços nesse sentido requerem estudos adicionais.

As relações entre clivagens plano-axiais indicam que S_3 é posterior a S_2 . As dobras do grupo D_3 são posteriores às demais, existindo seguros padrões de interferência com as dobras do Grupo D_2 . As relações de superposição de suas clivagens plano-axiais (S_3 e S_f) com as outras são tais, que se pode determinar o caráter posterior. Além disso, a regularidade de orientação desses planos de clivagem reforça a conclusão.

O grupo de dobras D_4 é demasiadamente restrito em ocorrência para poder representar na área uma fase de dobramento distinta. Como padrões de superposição às demais estruturas, apenas se verificou que as dobras D_4 afetam bandamentos, juntas e clivagens de fratura, podendo ser atribuídas a deformações tardias e de caráter local.

Assim sendo, as fases de deformação reconhecidas na área diferem do padrão descrito por Hasui (1975):

- fase de deformação F_1 - representada por dobras D_1 , no geral fechadas a cerradas, possivelmente isoclinais, com foliação plano-axial do tipo clivagem ardosiana ou xistosidade. Sua geometria é difícil de se precisar em função das variações morfológicas introduzidas pelos dobramentos posteriores. Possivelmente estas dobras eram na maior parte recumbentes, mas a caracterização do regime de deformação requer observações adicionais;
- fase de dobramento F_2 - caracteriza-se por dobras D_2 de escala e estilos variados, resultantes do dobramento da clivagem ardosiana. Essas dobras variam em perfil desde fechadas a abertas com charneiras sub-horizontais, apresentando porém mergulhos acentuados em áreas localizadas. A foliação plano-axial é, onde observada, representada por clivagem de crenulação fina a microscópica. Suas atitudes são no geral subverticais, mas podem localmente apresentar-se inclinadas até sub-horizontais. Esta fase de dobramento é responsável pela configuração das principais mesoestruturas e muitas macroestruturas do Grupo São Roque;
- fase de dobramento F_3 - caracterizada por amplas ondulações, observadas principalmente em mapas. Algumas dessas estruturas regionais haviam sido reconhecidas anteriormente, como o caso do "sinclinal do Jaraguá" (Coutinho 1972), que se mostrou uma extensa dobra neutra a SSW do Pico do Jaraguá (Fig. 12). Nos afloramentos, ocorrem em geral nos flancos de dobras relacio-

nadas a F_2 . São dobras abertas, isópacas a localmente anisópacas, que apresentam freqüentemente uma clivagem de crenulação ou clivagem de fratura em posição plano-axial, geralmente dispostas com orientação N-S a NNE, passando a E-W ou WNW na região de Itahyê. Nesta última região, o seu mecanismo de dobramento parece ter sido o tipo similar. A fase F_3 tem maior intensidade, a julgar pelas dobras mais conspícuas e freqüentes, na região meridional e central da faixa Jaraguá-Cristais;

- *deformações tardias* - possuem caráter local e correspondem a dobras desarmonizadas desenvolvidas em seqüências específicas, *kink-bands* e algumas ondulações de maior escala. Estas últimas podem estar associadas a certas movimentações tardias, junto a zonas de falhamento e intrusões granitóides.

CONCLUSÕES A aplicação de um método de análise estrutural em várias escalas, apoiada em uma série de atividades de mapeamento geológico de detalhe, permitiu recompor as principais fases de dobramento do Grupo São Roque na faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais.

O estudo qualitativo dos estilos de dobramento e padrões de superposição de estruturas possibilitou encontrar exemplos diversificados de magníficas feições estruturais. Dobras pertencentes a quatro grupos de estilo foram reconhecidas, com caracteres geométricos típicos e, em três deles, uma morfologia distintiva para as diferentes foliações plano-axiais. As relações de superposição encontradas na escala mesoscópica compreendem superposições de clivagens plano-axiais e padrões de interferência de dobras. A escala das dobras mostrou-se importante no condicionamento dos tipos de padrões de superposição.

Clivagem ardosiana (S_1) ou xistosidade (X) caracterizam as superfícies axiais das dobras do primeiro grupo (D_1), enquanto as do segundo grupo possuem uma fina clivagem de crenulação, principalmente do tipo zonal, associada em geral a um bandamento diferenciado. Esta última feição não ocorre associada às clivagens de crenulação S_3 , que em geral são mais abertas e definem as superfícies axiais das dobras D_3 . Em seqüências mais específicas, essas clivagens S_3 dão lugar a uma morfologia típica de clivagens de fratura. O grupo de dobras D_4 é de ocorrência restrita, não exibe foliação

plano-axial associada, e afeta seqüências onde clivagens de fratura e mesmo pequenas juntas já se haviam instalado.

A análise macroscópica foi conduzida através de três linhas de estudo complementares entre si, que compreendem o levantamento de detalhe de afloramentos com formas dobradas mapeáveis, a reconstrução de dobras maiores e a análise estrutural de determinados domínios homogêneos. Seus resultados permitiram demonstrar que, dos quatro grupos de dobras reconhecidos, apenas três podem caracterizar fases de deformação na área.

Uma primeira fase de deformação (F_1) é representada por dobras de dimensões métricas a centimétricas, em exposições pouco freqüentes. Muitas delas têm, inclusive, forma de ápices intrafoliais, devido a uma transposição, cuja magnitude e significado são ainda desconhecidos. Não se tem, presentemente, elementos para inferir polaridade estruturais das dobras D_1 . Uma segunda fase de deformação (F_2) compreende o grupo de dobras D_2 e é quase onipresente na faixa Jaraguá-Cristais, na forma de dobras centimétricas a hectométricas. Estas dobras foram afetadas, com maior intensidade na parte sul da faixa, pela fase de dobramento F_3 , cujas dobras são, em geral, hectométricas, e as orientações, submeridianas, com uma forte inflexão para E-W e depois para WNW, no extremo SW da faixa. Deformações tardias são representadas por ondulações hectométricas, além de zonas de cisalhamento localizadas, crenulações e *kink-bands* locais.

Foram reconhecidas algumas zonas de movimentação transcorrente, atualmente registradas por faixas miloníticas, dentre as quais se destaca a que separa o Batólito da Cantareira do Batólito do Itaqui. Em pontos isolados podem ser observados efeitos de dobramento em milonito-gnaisses e blastomilonitos, considerados mais antigos, e que foram afetados por recorrência de movimentos ao longo de falhas.

Agradecimentos Os autores agradecem a colaboração de vários colegas, que trouxeram importantes subsídios para a elaboração do trabalho, particularmente ao Prof. Dr. Fernando Flávio Marques de Almeida, Geóls. Waldir Lopes Ponçano, Agamenon Sérgio Lucas Dantas, Lauro Kazumi Dehira, Edgard Santoro e Marcos Alves Almeida. O IPT assegurou o apoio institucional e toda a infraestrutura indispensável às atividades. O Pró-Minério forneceu apoio financeiro para as fases iniciais do estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALGARTE, J.A.; MARTINS, A.T.M.; MORGENTHAU, A.; DAITX, E.C.; ANDRADE JUNIOR, F.S. de; BATOLLA JR., F.; FERREIRA, F.J.F.; PINTO, G.G.; CUNHA, H.C. da S.; DRUMOND, J.B.N.; RODRIGUES, J.C.; CAVALCANTE, J.C.; KAEFER, L.Q.; CHIEREGATI, L.A.; PINHO FILHO, W.D. de; ADDAS, W. - 1974 - *Projeto Sudeste do Estado de São Paulo*. Rel. final. São Paulo, DNPM/CPRM.
- ALMEIDA, F.F.M. de - 1975 - As camadas de São Paulo e a tectônica da Serra da Cantareira. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 4(2): 23-40.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; PONÇANO, W.L.; DANTAS, A.S.L.; CARNEIRO, C.D.R.; MELO, M.S. de; BISTRICHI, C.A. - 1981 - *Mapa geológico do Estado de São Paulo*, escala 1:500 000. São Paulo, IPT, v. 1, nota explicativa (IPT, Monografias, 6).
- AYRTON, S.N. & RAMSAY, J.G. - 1974 - Tectonic and metamorphic events in the Alps. In: *Alpidische metamorphosen in den Alpes*. *Bulletin Suisse de Minéralogie et Petrographie*, 54 (2/3): 609-639.
- BADGLEY, P.C. - 1959 - *Structural methods for the exploration geologist*. New York, Harper & Brothers, 280 p.
- BATTOLA JR., F.; SILVA, A.T.S.F.; ALGARTE, J.P. - 1981 - O Pré-Cambriano da região sul-sudeste do Estado de São Paulo e leste-nordeste do Estado do Paraná. In: *SIMP. REG. GEOL.*, Curitiba, 1981. *Atas...* Curitiba, SBG, v. 1, p. 94-108.
- BIGARELLA, J.J.; SALAMUNI, R. - 1956 - Estudos preliminares da Série Açungui; V - estruturas organógenas nos dolomitos da Formação Capiru, Estado de São Paulo. *Dusenya*, 7(6): 317-323.
- BIONDI, J.C. - 1983 - *Mapa geológico do embasamento do Estado do Paraná*, 1: 250 000. MINEROPAR (inédito).
- BISTRICHI, C.A.; CARNEIRO, C.D.R.; DANTAS, A.S.L.; PONÇANO, W.L.; CAMPANHA, G.A.C.; NAGATA, N.; ALMEIDA, M.A.; STEIN, D.P.; MELO, M.S. de; CREMONINI, O.A.; HASUI, Y.; ALMEIDA, F.F.M. de - 1981 - *Mapa geológico do Estado de São Paulo*, escala 1:500 000. São Paulo, IPT, v. 2 (IPT, Monografias, 6).
- BRAUN, O.P.G. & BAPTISTA, M.B. - 1978 - *Considerações sobre a geologia pré-cambriana da Região Sudeste e parte da Região Centro-oeste do Brasil*, Salvador, SBG/Núcleo BA., p. 225-236. (Publ. Especial n.º 3).

- CAMPOS NETO, M.C.; BASEI, M.A.S.; ARTUR, A.C.; SILVA, M.E. da; MACHADO, R.; DIAS NETO, C.M.; FRAGOSO-CESAR, A.R.; SOUZA, A.P. - 1983 - Geologia das Folhas de Piracema e Igaratá. In: JORNADA SOBRE A CARTA GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1:50 000, 1, São Paulo, 1983. *Atas...* São Paulo, PRÓ-MINÉRIO, p. 55-79.
- CARNEIRO, C.D.R. - 1983 - *Análise estrutural do Grupo São Roque na faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais, SP.* São Paulo, 155 p. (Tese dout. apres. Inst. Geoc. USP, inédita).
- CARNEIRO, C.D.R.; COUTINHO, J.M.V.; SUEMITSU, A.; RODRIGUES, E.P. - 1984a - Relações geométricas e temporais de eventos magmáticos no Grupo São Roque a partir da descoberta de rochas metavulcânicas e da aplicação de critérios estruturais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG, v. 7, p. 3196-3211.
- CARNEIRO, C.D.R.; HASUI, Y.; DANTAS, A.S.L. - 1984b - Contribuição ao estudo da litoestratigrafia do Grupo São Roque na faixa Jaraguá-Cristais, SP. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG, v. 7, p. 3212-3226.
- CARNEIRO, C.D.R.; RODRIGUES, E.P.; COUTINHO, J.M.V. - 1984c - Microestruturas e relações metamorfismo-deformação do Grupo São Roque na faixa entre o Pico do Jaraguá e a Serra dos Cristais, SP. *Rev. Bras. Geoc.* 14 (2): 97-110.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM) - 1975 - *Projeto Sudelpa*. Relatório final, São Paulo, 18 v.
- CORDANI, U.G.; CAMPOS, A.C.R.; DAVINO, A.; BJORNBERG, A. - 1961 - Geologia da região de Jaraguá, SP. *Bol. Soc. Bras. Geol.*, 10 (2): 72-91.
- COUTINHO, J.M.V. - 1971 - Estado atual de conhecimento do Pré-Cambriano Superior sul brasileiro, uma síntese. In: CONGR. BRAS. GEOL., 25, São Paulo, 1971. *Anais...* São Paulo, SBG, v. 1, p. 83-91.
- COUTINHO, J.M.V. - 1972 - Petrologia do Pré-Cambriano em São Paulo e arredores. *Bol. IG*, 3: 5-100.
- COUTINHO, J.M.V. & TAKEDA, F.K. - 1955 - Metaconglomerado e rochas associadas no município de São Paulo. *Bol. Fac. Filos. Ciênc. Letr.*, USP, São Paulo, (186): 5-47 (Mineralogia, 13).
- DERBY, O.A. - 1878 - Geologia da região diamantífera da província do Paraná no Brasil. *Archivos do Museu Nacional*, 3: 89-96.
- EBERT, H. - 1971 - Observações sobre a litologia e subdivisão do Grupo Setuva no Estado do Paraná, com sugestões à tectônica geral do geossíncline Açungui. In: CONGR. BRAS. GEOL., São Paulo, 1971. *Anais...* São Paulo, SBG, v. 1, p. 131-146.
- FRANCO, R.R. - 1958 - Contribuição ao conhecimento das rochas termometamórficas da Série São Roque. *Bol. Fac. Fil. Ciênc. Letr.*, USP, São Paulo (189): 1-81 (Mineralogia, 14).
- FRITZONS JR., O.; PIEKARZ, G.F.; FALCADE, D. - 1982 - Geologia e potencial econômico do Grupo Setuva (PR). In: CONGR. BRAS. GEOL., 32, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador, SBG, v. 3, p. 987-1001.
- FUCK, R.A.; MARINI, O.J.; TREIN, E. - 1971 - Geologia do leste paranaense. In: CONGR. BRAS. GEOL., 25, São Paulo, 1971. *Anais...* São Paulo, SBG, v. 1, p. 121-130.
- HASUI, Y. - 1973 - *Tectônica da área das folhas de São Roque e Pilar do Sul.* São Paulo (Tese de livre-docência apres. ao Inst. Geoc. USP).
- HASUI, Y. - 1975 - Evolução polifásica do Pré-Cambriano a oeste de São Paulo. *Bol. IG*, 6: 95-108.
- HASUI, Y. - 1983 - Aspectos geológicos essenciais da seção Cacondé-Caraguatubá e suas implicações na reconstituição da organização e evolução do Pré-Cambriano do leste paulista. In: JORNADA SOBRE A CARTA GEOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO EM 1:50 000, 1, São Paulo, 1983. *Atas...* São Paulo, PRÓ-MINÉRIO, p. 227-252.
- HASUI, Y. & SADOWSKI, G.R. - 1976 - Evolução geológica do Pré-Cambriano na região sudeste do Estado de São Paulo. *Rev. Bras. Geoc.*, 6: (3): 182-200.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; BISTRICHI, C.A. - 1980 - Estruturas e tectônica do Pré-Cambriano de São Paulo e Paraná. *An. Acad. Bras. Ciênc.* 52(1): 61-76.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R.; COIMBRA, A.M. - 1975 - The Ribeira folded belt. *Rev. Bras. Geoc.*, 5 (4): 257-266.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R.; CARNEIRO, C.D.R. - 1976 - Considerações sobre a estratigrafia do Pré-Cambriano na região de São Paulo. *Bol. IG*, 9: 107-113.
- HENNIES, W.T.; HASUI, Y.; PENALVA, F. - 1967 - O falhamento transcorrente de Taxaquara. In: CONGR. BRAS. GEOL., 21, Curitiba, 1967. *Anais...* Curitiba, SBG, p. 159-168. (Resumo no *Bol. Paran. Geoc.* (26): 18-19).
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT) - 1982 - Programa de Pesquisa - Análise estrutural do Grupo São Roque - Relatório de atividades. São Paulo, IPT (Relatório 16 385).
- JICA (Japan International Cooperation Agency)/MMAJ (Metal Mining Agency of Japan) - 1982 - *Report on geological survey of Anta Gorda, Brazil*. Phase II. Relatório 119 p.
- KNECHT, T. - 1943 - Estaurólita da Série São Roque. *O IGG*, 1(2): 165-168.
- LOPES, O.F. - 1983 - Faixa Perau: uma unidade faciológica e tectono-metamórfica do Grupo Açungui. *Rev. Bras. Geoc.*, 13(3): 190-203.
- MARINI, O.J.; TREIN, E.; FUCK, R.A. - 1967 - O Grupo Açungui no Estado do Paraná. *Bol. Paran. Geoc.* (23/25): 43-103.
- MELCHER, G.C.; GOMES, C.B.; CORDANI, U.C.; BETTENCOURT, J.S.; DAMASCENO, E.C.; GIRARDI, V.A.V.; MELFI, A.J. - 1973 - Geologia e petrologia das rochas metamórficas e graníticas associadas do Vale do Rio Ribeira do Iguape, SP e PR. *Rev. Bras. Geoc.*, 3(2): 97-123.
- MORAES REGO, L.F. de - 1930 - Estados de São Paulo e Paraná. In: SFPM - *Relatório anual do diretor, 1929*. Rio de Janeiro, Serv. Fom. Prod. Min., 1930.
- MORAES REGO, L.F. - 1933 - *Contribuição ao estudo das formações pré-devonianas de São Paulo*. São Paulo, Inst. Astron. Geogr., 43 p.
- OLIVEIRA, E.P. - 1927 - *Geologia e recursos minerais do Estado do Paraná, Brasil*. Rio de Janeiro, Serv. Geol. Min., 172 p. (Monografia 6).
- PAOLIELLO, P.C. - 1964 - Pré-Cambriano Superior, In: INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO, *Geologia do Estado de São Paulo*. São Paulo, p. 37-44 (Boletim 41).
- PIEKARZ, G.F. - 1981 - Reconhecimento de unidades correlacionáveis à sequência mineralizada do Perau, Estado do Paraná. In: SIMP. REG. GEOL., Curitiba, 1981. *Atas...* SBG, v. 1, p. 148-154.
- POPP, J.H.; ANGELO, R.; BIGARELLA, J.J. - 1979 - Geologia. In: J.J. BIGARELLA et al., *Folha Ouro Fino, recursos naturais*, Curitiba, Comec., p. 22-26.
- RAGAN, D.M. - 1973 - *Structural Geology, an introduction to geometrical techniques*. 2nd. ed., New York, John Wiley & Sons, 208 p.
- RAMSAY, J.G. - 1960 - The deformation of early linear structures in areas of repeated folding. *J. Geol.*, 68: 75-93.
- RAMSAY, J.G. - 1967 - *Folding and fracturing of rocks*. New York, MacGraw-Hill, 567 p.
- ROBERTS, J.L. - 1977 - The structural analysis of metamorphic rocks in orogenic belts. In: SAXENA, S.K. & BHATTACHARGI, S. (eds). *Energetics of geodynamic processes*. s. 1., Springer - Verlag, cap. 8, p. 151-167.
- SCHÖLL, M.V.; LOPES, O.F.; SILVA, A.C.G. de A.E.; PROZZI, C.R. - 1980 - Geologia do Pré-Cambriano da região do anticlinal do Setuva (municípios de Bocaiúva do Sul e Rio Branco do Sul, PR). In: CONGR. BRAS. GEOL., 31, Camboriú, 1980. *Anais...* Camboriú, SBG, v. 5, p. 3003-3012.
- SILVA, A.T.S.F. da; CHIOLDI FILHO, C.; CHIOLDI, D.K.; PINHO FILHO, W.D. - 1977 - *Projeto Santos-Iguape*. São Paulo, DNPM/CPRM, v. 1 (relatório final, geologia).
- SILVA, C.R. da; TAKAHASHI, A.T.; CHIOLDI FILHO, C.; BATTOLA JR., F. - 1982 - Geologia e mineralização da região do Perau-Água Clara, Vale do Ribeira, PR. In: CONGR. BRAS. GEOL., 32, Salvador, 1982. *Anais...* Salvador, SBG, v. 3, p. 1024-1036.
- TURNER, F.J. & WEISS, L.E. - 1963 - *Structural analysis of metamorphic tectonites*. New York, MacGraw-Hill, 545 p.
- WILLIAMS, P.F. - 1970 - A criticism of the use of style in the study of deformed rocks. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 81: 3283-3296.
- YAMAMOTO, J.K. & PEREIRA JR., G.G. - 1984 - Tratamento automático de dados estruturais. In: CONGR. BRAS. GEOL., 33, Rio de Janeiro, 1984. *Anais...* Rio de Janeiro, SBG, v. 11, p. 5283-5293.

MANUSCRITO

Recebido em 01 de fevereiro de 1985

Revisão aceita em 30 de agosto de 1985