SUPERPOSIÇÃO DESTRAL EM AMPLA ZONA DE CISALHAMENTO SINISTRAL: CINTURÃO DE CISALHAMENTO SÃO PAULO, IMEDIAÇÕES DE PIRACAIA - SP

MARIA DA GLÓRIA MOTTA GARCIA* & MÁRIO DA COSTA CAMPOS NETO**

ABSTRACT DEXTRAL SUPERPOSITION IN A LARGE SINISTRAL SHEAR ZONE: SÃO PAULO SHEAR BELT, PIRACAIA REGION - SÃO PAULO, SOUTHEASTERN BRAZIL. The shear zones in question are roughly NE-SW and intersect gneissic-migmatitic terrains of the Piracaia Complex to the northwest and low- to medium-grade metavolcano-sedimentary sequences of the São Roque and Serra do Itaberaba Groups to the southeast. The early São Bento do Sapucaí and Sertãozinho shear zones (SBSSZ and SSZ) comprise a large mylonitic belt that records sinistral lateral displacement that took place under low to medium metamorphic conditions. This movement generated both widespread subsidence toward the SE and transtensive domains in which less metamorphic rocks and granitic bodies were emplaced. This arrangement (including a probable decrease in the metamorphic grade toward the SE) was disrupted by later dextral displacement of the Jundiuvira Shear Zone (JSZ), a narrower zone of mylonites and ultramylonites with a foliation that is distinguished from the former by retrograde minerals. A SSW to ENE inflection of the JSZ produced both transtensive and transpressive domains, the latter being characterised by asymmetric cylindrical, northwest-verging folds in the SBSSZ region. Lattice preferred orientation (LPO) analysis of quartz C-axes suggests distinct deformational histories for two different parts of the area, whose boundaries are related to the JSZ transpressive domain. In the northwest (SBSSZ) the most typical LPO diagrams show small-circle girdles with asymmetric maxima, which are thought to represent non-coaxial deformation followed by flattening (transpression), while in the southeast (SSZ) the patterns are well-defined sinistral single girdles, typical of non-coaxial deformation (simple shear). The general decrease in metamorphic grade observed in the area is also suggested by the quartz C-axes patterns, which display a reduction in the basal slip (indicative of low temperatures) from the border to the centre of the JSZ.

Keywords: Shear zones, Kinematic indicators, Transpression, Quartz C-axes.

RESUMO As zonas de cisalhamento abordadas orientam-se nordeste e seccionam os terrenos gnáissico-migmatíticos do Complexo Piracaia, a noroeste, e a sequência metavolcano-sedimentar metamorfizada nos graus baixo a médio dos grupos São Roque e Serrado Itaberaba, a sudeste. A movimentação sinistral inicial das zonas de cisalhamento São Bento do Sapucaí e Sertãozinho (ZCSBS e ZCS) ocorreu sob condições de metamorfismo médio e gerou abatimento generalizado a sudeste e domínios transtrativos que permitiram o encaixe de rochas menos metamórficas e a colocação de corpos graníticos. Esta disposição original, que incluía provavelmente uma diminuição no grau metamórfico em direção a SE, foi posteriormente desmembrada pela movimentação lateral dextral da Zona de Cisalhamento Jundiuvira (ZCJ), materializada em uma faixa estreita de milonitos e ultramilonitos cujas foliações se diferenciam das anteriores pelo crescimento de minerais retrometamórficos. A presença de uma forte inflexão de SSW para ENE na ZCJ produziu domínios transtrativos (de caráter local) e transpressivos (responsáveis por dobramento cilíndrico assimétrico generalizado com vergência para NW na região da ZCSBS). Estudos de petrografia de quartzo corroboram a existência de dois setores com histórias de deformação distintas, relacionados ao domínio transpressivo da ZCJ. A noroeste (ZCSBS), os padrões mais típicos mostram pequenos círculos com máximos assimétricos que representam deformação não-coaxial seguida de achatamento (transpressão), enquanto que a sudeste (ZCS) os padrões mostram guirlandas simples, típicas de deformação não-coaxial (cisalhamento simples). A redução generalizada no grau metamórfico que acompanhou a instalação destas zonas de cisalhamento foi também caracterizada nos padrões de eixos-C de quartzo, que exibem uma redução no deslizamento basal (indicativo de baixas temperaturas) das bordas para o centro da ZCJ.

Palavras-chaves: Zonas de cisalhamento, Indicadores cinemáticos, Transpressão, Eixos-C de quartzo.

INTRODUÇÃO A área, situada nas proximidades de Piracaia, a nordeste da cidade de São Paulo (Fig. 1), corresponde a uma seção ortogonal, mapeada na escala 1: 10.000, da espessa faixa milonítica que delimita terrenos gnáissico-migmatíticos a noroeste, de uma sequência de xistos semi-pelíticos, quartzitos, rochas metabásicas e calcissilicáticas, a sudeste. Os primeiros foram admitidos como pertencentes ao Complexo Piracaia (Campos Neto *et al* 1984), enquanto que as demais litologias são relacionáveis ao Grupo São Roque (Hasui *et al* 1969) e ao Grupo Serra do Itaberaba (Juliani *et al* 1986).

As zonas de cisalhamento estudadas possuem movimentação lateral e estão orientadas na direção nordeste, das quais a zona de cisalhamento Jundiuvira (Hasui *et al* 1969), menos espessa (1000 m em média), é lateral dextral. Ela secciona uma extensa faixa de rochas com textura milonítica, desenvolvida sob condições de temperatura mais altas e que admite uma cinemática essencialmente sinistral. Essa faixa recebeu difer-

entes denominações de um lado e de outro da zona de cisalhamento Jundiuvira: São Bento do Sapucaí-ZCSBS - (Cavalcante *et al* 1979) a noroeste e Sertãozinho - ZCS - (Cavalcante & Kaefer 1974) a sudeste. Representam segmentos lineares e anastomosados do cinturão de cisalhamento São Paulo (Hasui *et al* 1984) que, na região, superpõem-se a uma foliação metamórfica de baixo ângulo relacionada a lascas dúcteis de uma nappe com direção de transporte para noroeste (Campos Neto & Basei 1983; Campos Neto *et al* 1983, 1984).

Diversos corpos de granitóides exibem relações de intrusão controladas ou não por essas zonas de cisalhamento, permitindo posicioná-los temporalmente dentro do evento orogênico Brasileiro. Os plútons sincinemáticos intrudiram entre 600-580 Ma, conforme atestam os valores isocrônicos Pb-Pb (Tassinari *et al* 1987) e Rb-Sr (Janasi *et al* 1993), bem como idades U-Pb em zircão (Ebert *et al* 1996). Neste período, final do Neoproterozóico III, parece ter se dado a principal fase de movimentação direcional do cinturão de

Pós-graduação - Departamento de Geologia Geral/ Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo, Caixa Postal 11348, CEP 05422-970, São Paulo, SP, e-mail: garcia@usp.br

Departamento de Geologia Geral/Instituto de Geociências/Universidade de São Paulo, Caixa Postal 11348, CEP 05422-970, São Paulo, SP, e-mail: camposnt@usp.br

Figura 1 - Mapa de localização mostrando a estruturação geral do setor leste do Estado de São Paulo e adjacências. Baseado em Hasui *et al* (1977), Campos Neto & Basei (1983) e Artur & Wernick (1986).

Figure 1 - Location map showing the main structural features of the eastern part of the São Paulo State and regions around. Based on Hasui *et al.* (1977), Campos Neto & Basei (1983) and Artur & Wernick (1986).

cisalhamento São Paulo, período este regionalmente controlado pelos valores U-Pb em zircão, monazita e titanita obtidos por Machado *et al.* (1996). A contribuição mantélica na origem de parte deste magmatismo plutônico (Janasi *et al.* 1993) destaca o caráter litosférico deste cinturão de cisalhamento.

CONTEXTO LITOESTRATIGRÁFICO A região estudada (Figs. 2a e b) está compartimentada em três domínios crustais distintos: o domínio do Complexo Piracaia, ocidental, constituído por rochas metassedimentares parcialmente migmatizadas e cortadas por granitos peraluminosos, no geral controlados pelos limites rúpteis da zona de cisalhamento dúctil São Bento do Sapucaí; o domínio linear e imbricado, central, onde ocorrem filitos, micaxistos, quartzitos e anfibólitos do Grupo Serra do Itaberaba metamorfisados no grau baixo ao médio, filitos do Grupo São Roque e granitos porfíricos; e o domínio do Grupo Serra do Itaberaba, oriental, com micaxistos do grau médio alternados com ortognaisses miloníticos e lineares na zona de cisalhamento Sertãozinho. Os ortognaisses granitóides são neoproterozóicos, no geral sincrônicos a tardios em relação ao evento metamórfico principal, relacionado à geração de uma foliação de baixo ângulo observada regionalmente. Corpos batolíticos de granitóides porfíricos cálcio-alcalino potássicos, deformados já no estado sólido pelas faixas miloníticas lineares (Janasi & Ulbrich 1991, Campos Neto & Figueiredo 1995, Basei *et al* 1995, Ebert *et al* 1996, Töfner 1996) e presentes regional-

mente nestes domínios descritos, são sincrônicos ao metamorfismo regional e apresentam idades U-Pb em zircão ca. 630-625 Ma, incluindo-se aí corpos maiores de granitos peraluminosos (Töfner 1996). Por outro lado, a idade das unidades litoestratigráficas é ainda especulativa. Admite-se que o início da sedimentação e vulcanismo para o Grupo Serra do Itaberaba possa ter se dado no final do Paleoproterozóico (U-Pb em zircão em metarioradacitos intrusivos, Van Schmus *et al* 1986). Para o Grupo São Roque, que lhe é estratigraficamente superior (Juliani & Beljavskis 1995) não se tem dados geocronológicos consistentes.

Granitos e ortognaisses Os granitos, que ocorrem como corpos alongados são no geral peraluminosos e intrusivos no Complexo Piracaia. São muscovita-biotita granitos cinza claros, leucocráticos médios a grossos, inequigranulares; granitos gnáissicos cinza claros, hololeucocráticos a biotita e/ou a duas micas, granoblásticos finos e lineares; biotita granito milonítico porfiroclástico e granito milonítico porfiroclástico cinza claro, hololeucocrático a granada, este como uma lasca em mica xistos Serra do Itaberaba, na zona de cisalhamento Jundiuvira.

Os granitóides Serra do Mato Mole (Campos Neto *et al* 1983) são muito grossos, possuindo espessas bordas miloníticas porfiroclásticas com megacristais de microclina rosa a cinza clara (que atingem 5cm) com formas elipsoidais e orientadas na direção preferencial de estiramento. Apresentam composição de um granito a microclina-granito, com

biotita e hornblenda como máficos principais, gradando a granitos rosados equi a inequigranulares médio-grossos, em direção ao centro do corpo.

Os granitóides Serra do Barro Branco (Campos Neto *et al.* 1988) ocorrem como ortognaisses alongados, intrusivos nos micaxistos Serra do Itaberaba. Possuem composição granítica-granodiorítica e são acinzentados, leucocráticos a biotita (hornblenda como acessório), granoblásticos de granulação média e com fácies porfiroclásticas com megacristais de microclina e plagioclásio.

Grupo São Roque Sua ocorrência restringe-se ao extremo sudeste da área e à porção central da sequência meta-vulcano-sedimentar do Grupo Serra do Itaberaba. Na parte sudeste estas rochas estão em contato tectônico com os ortognaisses da Serra do Barro Branco e com os mica xistos da unidade subjacente. São metargilitos a metarenitos de grau baixo, que formam camadas rítmicas de cores variadas e espessuras centimétricas e alternam-se com rochas metabásicas e anfibolitos, numa sequência formada por rochas metassedimentares roxas, de aspecto poroso, seguidos de mica xistos esverdeados, metassedimentos arcoseanos (cor branca), anfibolitos bandados (cor ocre) e rochas metabásicas (vermelho maciço). O aspecto geral varia entre bandado e maciço.

Grupo Serra do Itaberaba Esta unidade é representada por uma sequência de rochas metassedimentares e metabásicas de baixo a médio grau, basais ao Grupo São Roque e que apresentam taxas de deformação e metamorfismo mais altas que este último. São quartzitos puros, arcoseanos ou a turmalina e/ou grafita, mica xistos, sericita filitos e filitos grafitosos, sillimanita xistos a sillimanita-quartzo xistos e paragnaisses bandados que ocorrem como lentes e/ou faixas alongadas essencialmente segundo NE, quase sempre milonitizadas. Os termos mais psamíticos apresentam pronunciada lineação de estiramento dada por ribbons de quartzo. Os contatos são quase sempre tectônicos, mas foram observadas intercalações locais e gradações entre os litotipos, assim como minerais de dimensões pegmatóides nas proximidades destes contatos. Ocorrem ainda lentes ou níveis de anfibolitos bandados ou maciços, intercalados principalmente nos xistos e extensas até o quilômetro.

Complexo Piracaia Engloba rochas metassedimentares na fácies anfibolito, migmatizadas ou não. São granada-biotita-sillimanitaxistos localmente migmatizados com estruturas predominantemente estromáticas e cujo mesossoma é constituído por biotita-sillimanita xistos e o leucossoma por bandas graníticas hololeucocráticas a turmalina. Ocorrem também paragnaisses bandados (bandas com espessuras em geral subcentimétricas), caracterizados pela alternância de porções ricas em minerais micáceos e material quartzo-feldspático geralmente porfiroclástico.

ESTRUTURAÇÃO GERAL A foliação mais persistente da área é milonítica, concentrada preferencialmente em faixas arranjadas segundo um padrão anastomosado e que preservam em seu interior porções menos deformadas. Estas superfícies foram denominadas Sm, não havendo uma distinção clara, quanto à orientação, entre as geradas durante a movimentação sinistral, anterior, e as que se relacionam à cinemática destal, posterior. Nos pods menos deformados as foliações mais proeminentes, embora certamente mais antigas que as miloníticas, foram chamadas Sn para efeitos de hierarquização de estruturas e para distingui-las daquelas produzidas essencialmente por deformação.

Zonas De Cisalhamento Sinistrais Em grande parte da área mapeada tem-se o registro de uma foliação penetrativa,

com texturas miloníticas, associada a uma lineação mineral ou de estiramento mineral de fraco caimento, contendo indicadores cinemáticos compatíveis com uma movimentação lateral esquerda (Simpson 1986, Hamner & Passchier 1991, Passchier & Trouw 1996 - Fig. 3).

Uma progressiva redução no grau metamórfico acompanhou a instalação desta estrutura planar que, no geral, manteve-se no grau médio, recrystalizando fibrolita e mica branca a partir de cristais de sillimanita, biotita e clorita a partir de granada e hornblenda. Estes planos, ora denominados Sm, são materializados através de superfícies de diferenciação, crescimento planar de minerais (xistosidade) e lenticularização e achatamento de minerais ou agregados minerais. Esta deformação ocorreu após o metamorfismo principal que gerou a sillimanita, já que os principais registros deste mineral encontram-se em microdobras no interior de pods inseridos na foliação milonítica (Fig. 4).

No domínio dos milonitos da ZCSBS a foliação Sm apresenta uma orientação preferencial estatística N38E/65SE e apresenta-se, de um modo geral, dispersa, embora dentro de uma geometria que, genericamente, define um dobramento subcilíndrico (Fig. 5a) com eixo B a S41W/2. A lineação principal observada neste domínio é caracterizada essencialmente por agregados isorientados de filossilicatos ou por cristais de quartzo e feldspato estirados e está contida no plano da foliação milonítica Sm. Estas lineações apresentam caimentos baixos a médios, com orientação estatística preferencial de N48E/16 (Fig. 5a), mostrando uma dispersão NNE/ENE compatível com a orientação esperada para estas lineações dentro da superfície de dobramento subcilíndrica admitida. No domínio milonítico da ZCS estes elementos estruturais encontram-se menos dispersos e exibem uma orientação estatística preferencial de N22E/67SE para a Sm e de N31E/16 (para a lineação de estiramento) (Fig. 5b).

A predominância de indicadores cinemáticos sinistrais dúcteis, associada à orientação geral das lineações de estiramento contidas nas foliações miloníticas (Figs. 5a e b), indica que estas representam superfícies dúcteis de um domínio transtrativo resultante de movimentação lateral oblíqua divergente sinistral ao longo desta faixa. Estes movimentos encaixaram metassedimentos de baixo a médio grau dentro de gnaisses e migmatitos, promoveram o fatiamento de unidades preexistentes e permitiram provavelmente a colocação de um imenso corpo granítico (Ortognaisses da Serrado Mato Mole). Os limites deste domínio são imprecisos, sendo entretanto claro o truncamento de suas estruturas pela ZCJ, orientada predominantemente NE/ENE com mergulhos altos para SE. Esta relação é indicativa do caráter mais jovem da ZCJ.

Zona De Cisalhamento Destral As superfícies miloníticas desenvolvidas durante a instalação da ZCJ são muito pouco diferenciáveis das geradas pelo Cisalhamento sinistral anterior, com exceção de vestígios localizados, como crescimento de minerais retrometamórficos em superfícies comprovadamente destrais e grãos de quartzo alongados exibindo extinção ondulante e alguma recrystalização dinâmica nas bordas. Apesar do caráter destal desta zona de cisalhamento, podem ser encontradas ainda feições indicativas da movimentação sinistral anterior, geradas em condições de temperatura mais altas (Fig. 6a). Indicadores cinemáticos caracteristicamente rúpteis têm sua ocorrência restrita a este domínio (Fig. 6c).

Na área em foco, a ZCJ sofre uma forte inflexão de SSW para ENE, evidenciada pela significativa mudança na direção preferencial das foliações da porção S W (N30E - Fig. 7a) para a NE (N61E - Fig. 7b) desta zona de Cisalhamento. Em ambos os setores as foliações Sm apresentam um padrão de distribuição disperso, com mergulhos médios-altos tanto para SE como para NW. A lineação de estiramento milonítica está

Figura 2 - a) Mapa geológico-estrutural do setor de junção entre as zonas de cisalhamento São Bento do Sapucaí, Sertãozinho e Jundiuvira.

Figure 2 - a) Structural and geological map of São Bento do Sapucaí, Sertãozinho e Jundiuvira shear zones region.

Figura 2 - b) Legenda e perfis.
 Figure 2 - b) Legend and profiles.

Figura 3 - Indicadores cinemáticos do domínio sinistral, a) Superfícies S-C com arranjo sinistral. Biotita-xistos, Grupo Serra do Itaberaba, domínio da ZCSBS. Campo de observação 10 mm; b) Porfiroblastos de granada com sombras de pressão assimétricas sinistrais. Os planos Sm são rotacionados com o cisalhamento. Quartzo biotita sillimanita-xistos com granada, Complexo Piracaia, domínio da ZCSBS. Campo de observação 24 mm; c) Mica fish sinistral cujos planos basais orientam-se perpendicularmente à direção de máximo encurtamento. Ortognaisses da Serra do Barro Branco, domínio da ZCJ. Campo de observação 32 mm; d) Dobras assimétricas desenvolvidas durante o fluxo não-coaxial da zona de cisalhamento, com eixos perpendiculares à direção de maior estiramento e indicando movimentação sinistral. Biotita-xistos, Grupo Serra do Itaberaba, domínio da ZCSBS. Figure 3 - Shear sense indicators of the sinistral domain. a) C-type shear bands. Biotite-schists, Serra do Itaberaba Group, SBSSZ domain. Width of view 10 mm; b) Garnet porphyroblasts with sinistral asymmetric pressure shadows. Sm plans rotated during shear. Quartz biotite sillimanite schists with garnet, Piracaia Complex, SBSSZ domain. Width of view 24 mm; c) Mica fish showing basal planes normal to the maximum shortening direction. Serra do Barro Branco Orthogneiss, JSZ domain. Width of view 32 mm; d) Asymmetric folds developed during the shear zone non-coaxial flux, showing a sinistral shear sense. Fold axes parallel to the maximum stretch direction. Biotite-schists, Serra do Itaberaba Group, SBSSZ domain.

contida nos planos da foliação Sm e possui caimento baixo a médio (orientação estatística preferencial: N34E/25 na porção SW (Fig. 7a) e baixo (orientação estatística preferencial: S55W/4 na porção NE (Fig. 7b), sendo definida por ribbons de quartzo e material filossilicático isorientado. A estruturação dos metassedimentos neste domínio é fortemente linear.

Os movimentos destrais da ZCJ provocaram deslocamentos de caráter mais rúptil que aproveitaram superfícies geradas anteriormente com a movimentação sinistral. A análise conjugada das lineações de estiramento, dobras assimétricas e contrastes entre tipos litológicos adjacentes permitiu a identificação de setores com predomínio de tectônica lateral oblíqua divergente (domínios transtrativos) e convergente (domínios transpressivos) - Harland (1971). O domínio transtrativo, a nordeste, restringiu-se à abertura de uma cavidade tectônica de formato lenticular, orientada NE e que trunca invariavelmente as estruturas relativas à ZCS, dentro da qual abateram-

se rochas metassedimentares arenosas a argilosas de grau metamórfico baixo (Grupo São Roque). A Fig. 6b ilustra a participação de componente de extensão nesta porção da ZCJ, que atuou na geração de superfícies C' (Hamner & Passchier 1991). O domínio transpressivo é materializado através de uma compressão na direção NW/SE, identificada para quase toda a área, formando dobras cilíndricas assimétricas em superfícies miloníticas, com eixos predominantemente para NE e S W. Fossen *et al.* (1994) sugerem que, em situações nas quais a orientação das lineações de estiramento sejam sub-horizontais, a direção principal de alongação do elipsóide de deformação encontra-se próximo à horizontal e, no caso presente, quase ortogonal à inflexão NNE-SSW. A concentração de dobras assimétricas preferencialmente no domínio da ZCSBS (Fig. 7a), com vergência e direção de alongamento máximo para NW, está em concordância com a direção esperada para os componentes compressivos. A sinuosidade do traço principal da ZCJ certamente contribuiu para o desen-

Figura 4 - Dobra intrafolial dentro da foliação milonítica Sm. Notar os ribbons de quartzo com forte extinção ondulante e a sillimanita fibrosa no centro da estrutura. Campo de observação 10 mm. Sillimanita-xistos, Grupo Serra do Itaberaba. Figure 4 - Intrafolial fold within the mylonitic foliation Sm. Note the quartz ribbons showing strong undulose extinction and fibrous sillimanite in the central part of the structure. Width of view 10 mm. Sillimanite schists, Serra do Itaberaba Group;

Figura 5 - Diagramas estereográficos dos principais elementos estruturais do domínio sinistral, a) Domínio da ZCSBS; b) Domínio da ZCS.

Figure 5 - Stereoplots of the main structural elements of the sinistral domain. a) SBSZ domain; b) SSZ domain.

volvimento destes domínios, que foram também caracterizados por meio de análises de petrotrama de eixos-C de quartzo, como será visto adiante.

PETROTRAMA DE QUARTZO Analisaram-se quinze amostras, dez das quais em platina universal de quatro eixos e plotadas em diagramas de igual área, hemisfério inferior. As amostras restantes foram analisadas em platina universal de cinco eixos, utilizando-se o programa Fabric 7 (Mainprice 1992). As seções delgadas foram orientadas de modo que a direção da lineação estivesse alinhada E-W ou N-S. Os estereogramas representam seções XZ, com a foliação XY vertical e alinhada segundo E-W e a lineação X horizontal.

A presença ou não de um componente coaxial (relacionado ao domínio transpressivo gerado pela ZCJ) nos diagramas obtidos determinaram a individualização de dois setores com histórias deformacionais distintas (Fig. 10). Para o setor que corresponde à porção nordeste da ZCJ e áreas a sudeste (região

Figura 6a - Indicadores cinemáticos do domínio dextral. a) Manto de recristalização assimétrico sinistral em porfiroclasto de K-feldspato, preservado em pod menos deformado dentro do domínio da ZCJ. O grau de recristalização e a forma assimétrica dos grãos indicam que a deformação sinistral ocorreu sob altas temperaturas (maiores que 450). Os ribbons de quartzo policristalinos sugerem um reaquecimento tardio sob temperaturas mais baixas, em torno de 350. Ortognaisses da Serra do Barro Branco, domínio da ZCJ. Campo de observação 10 mm;

Figure 6a - Shear sense indicators of the dextral domain. a) Sinistral asymmetric mantle K-feldspar porphyroblast found in less-deformed pod within the JSZ domain. The amount of recrystallization and the asymmetric shape of the grains indicate that deformation occurred under high temperatures (greater than 450). Polycrystalline quartz ribbons suggest late heating at lower temperatures (around 350). Serra do Barro Branco Orthogneiss, JSZ domain. Width of view 10 mm;

Figura 6b b); Superfícies C' orientadas obliquamente ao plano de fluxo. Sillimanita-xistos, Grupo Serra do Itaberaba, domínio da ZCJ. Campo de observação 32 mm.

Figure 6b - b) C'-type shear bands. Sillimanite-schists, Serra do Itaberaba Group, JSZ domain. Width 32 mm.

da ZCS) foram analisadas cinco amostras (Fig. 8). Nos diagramas referentes à ZCS os padrões obtidos são, de um modo geral, do tipo guirlanda simples (amostras G-86, G-198 e G-234). Na ZCJ o diagrama da amostra G-200 assemelha-se a um padrão do tipo I (Lister 1977), com indicação de sentido

Figura 6c c) Porfiroclasto de K-feldspato fraturado com movimentação antitética indicando cisalhamento dextral gerado em regime de deformação ríptil. Ortognaisses da Serra do Barro Branco, domínio da ZCJ. Campo de observação 10 mm.

Figure 6 - c) Antithetically fractured K-feldspar porphyroblast indicating a dextral shear sense generated in brittle conditions. Serra do Barro Branco Orthogneiss, JSZ domain. Width of view 10 mm.

Figura 7 - Diagramas estereográficos dos principais elementos estruturais do domínio dextral (ZCJ). a) Porção SW; b) Porção NE.

Figure 7 - Stereoplots of the main structural elements of the dextral domain (JSZ). a) SW; b) NE.

de cisalhamento dextral. A razoável concentração de eixos-C próximos ao centro do diagrama indica atuação significativa dos sistemas romboédrico e prismático. Nestes terrenos parece não ter havido, portanto, contribuições significativas de deformação coaxial por achatamento. Ao contrário, os padrões obtidos destacam claramente a presença de forte componente não-coaxial, característico de cisalhamento simples, além de indicar, para a ZCS, um sentido de cisalhamento tipicamente sinistral. O campo transpressivo gerado pela movimentação dextral da ZCJ parece, portanto, não ter se estendido até este setor, já que os estágios finais da deformação plástica exercem influência decisiva no desenvolvimento da trama cristalográfica de uma rocha e, por conseguinte, nos seus padrões de orientação preferencial (Schmid & Casey 1986). Talvez por serem anteriores e já terem tido seus fabrics originais

Figura 8 - Diagramas de orientação preferencial de eixos-C de quartzo do setor com predomínio de cisalhamento simples. Figure 8 - Quartz C-axes preferred orientation diagrams of the simple shear domain.

mascarados pelas deformações subsequentes, os domínios em transtração relacionados à movimentação sinistral inicial das ZCSBS e ZCS não foram caracterizados em nenhum dos diagramas.

Outro setor foi individualizado através da análise de dez amostras (Figs. 9a, b e c, Fig. 10), que representam as porções central (G-56 e G-129) e sudoeste (G-114a e b, G-299 e G-48) da ZCJ e áreas a noroeste, nos domínios da ZCSBS (G-134, G-172, G-9 e G-283). Como feição principal comum a quase todos os diagramas observa-se, primeiro, a grande concentração de eixos-C formando altos ângulos com a lineação e a foliação, cujas distribuições aproximam-se às de guirlandas do tipo pequeno círculo, típicas de deformação por achatamento. Secundariamente, a obliquidade dos máximos em relação a estas estruturas sugere a presença de forte componente de deformação não-coaxial. A pouca ou nenhuma concentração de eixos-C no centro dos diagramas (eixo Y) indica que o deslizamento segundo o sistema prismático (a) não foi significativo na maior parte das amostras, com exceção da G-56 (domínio da ZCJ), que exibe estrutura que se aproxima de um esqueleto de guirlanda cruzada tipo I (Lister 1977). Na ZCJ estes padrões adquirem um bom grau de simetria, sendo que no centro da zona de cisalhamento (G-114

Figura 9 - Diagramas de orientação preferencial de eixos-C de quartzo do setor com predomínio de transpressão. a) Platina Universal de quatro eixos.

Figure 9 - Lattice preferred orientation diagrams of quartz C-axes of the transpression domain. a) Four-axes U-stage.

a e b) predominam os padrões típicos de deslizamento basal, enquanto que nas bordas (G-299, G-48a) um aumento relativo nas condições de temperatura é sugerido pela ativação do sistema romboédrico (Burg *et al.* 1981). A amostra G-134 foi analisada separando-se os grãos pórfiros (pais) e os grãos recrystalizados (filhos) - Fig. 9c. De um modo geral, a existência de padrões assimétricos que lembram versões modificadas daqueles observados para a deformação coaxial pode ser interpretada como o resultado de uma história deformacional complexa, no caso um cisalhamento simples seguido de achatamento (transpressão).

O mapa de distribuição e um perfil esquemático mostrando os diagramas mais representativos em relação às zonas de cisalhamento que cortam a área podem ser vistos na Fig. 10.

CONCLUSÕES As zonas de cisalhamento São Bento do Sapucaí e Sertãozinho são de movimentação sinistral e orientam-se NE/SW. Apresentam semelhanças nos elementos estruturais, na recrystalização metamórfica e nas rochas da sequência metassedimentar que apontam para uma disposição original na forma de uma única e extensa faixa milonítica sinistral. Esta movimentação inicial se deu em superfícies com

Figura 9 - b) e c) Platina Universal de cinco eixos.

Figure 9 - b) and c) Five-axes U-stage.

mergulhos médios-altos para SE, ao longo de uma lineação com fraco caimento para NE, gerando um abatimento sistemático a sudeste e domínios transtrativos por movimentos essencialmente sub-horizontais (sem participação significativa de deslocamentos normais). Esta organização permitiu o encaixe de terrenos provenientes de porções crustais mais altas e colocação de corpos graníticos de grande porte, além do fatiamento das unidades presentes. Litologicamente, as unidades a noroeste (ZCSBS) encontram reflexo naquelas situadas a sudeste, em domínios da ZCS, configurando uma estruturação simétrica que tem a falsa aparência de uma estrutura em flor com eixo NE/SW. Este arranjo foi, entretanto, estabelecido durante a movimentação destal da ZCJ, posterior, ao longo de uma lineação com fraco caimento para NE, que soergueu o bloco da ZCS e obliterou uma provável organização original cujo grau metamórfico deveria decrescer em direção a SE. A presença de forte inflexão de SSW para ENE na ZCJ provocou, durante sua movimentação destal, o

Figura 10 - Mapa e perfil esquemático mostrando a distribuição dos diagramas de orientação preferencial de eixos-C de quartzo na área estudada.

Figure 10 - Sketch map and profile showing the distribution of the preferred orientation quartz C-axes diagrams in the studied area.

desenvolvimento de domínios transtrativos e transpressivos. Os domínios transtrativos, menos extensos, limitaram-se a encaixar metassedimentos de baixo grau. Os domínios transpressivos, porém, foram responsáveis, ao menos em parte, pela geração de dobramento subcilíndrico assimétrico generalizado, vergente para NW, no domínio da ZCSBS. Os estudos de petrografia de quartzo confirmaram a existência de dois setores com histórias deformacionais distintas. O primeiro, essencialmente não-coaxial, situa-se nos domínios da ZCS e está relacionado à movimentação sinistral inicial. O segundo, que mostra evidências de cisalhamento simples associado a achatamento (transpressão), compreende basicamente a região da ZCSBS e refere-se ao domínio transpressivo da ZCJ.

A instalação destas zonas de cisalhamento foi acompanhada de uma progressiva redução no grau metamórfico, evidenciada pela geração de minerais retrometamórficos, pela maior recristalização verificada nas rochas situadas nas ZCSB e ZCS e pela presença de estruturas indicativas de deformação dútil destruída associadas a feições dúcteis sinistrais. Além disso, os diagramas de orientação preferencial de eixos-C de quartzo indicam uma redução na temperatura das bordas para o centro da ZCJ.

Agradecimentos Os autores agradecem à FAPESP (Proc. 923368-0) e ao CNPq.

REFERÊNCIAS

- Artur, A.C. & Wernick, e. 1986. Interpretação geotectônica de alguns aspectos do embasamento cristalino do Estado de São Paulo e áreas adjacentes do Estado de Minas Gerais. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, Anais, 3:1285-1295.
- Basei, M. A. S., Siga Jr., O., Sato, K. & Sproesser, W. M. 1995. A metodologia Urânio-Chumbo na Universidade de São Paulo. Princípios metodológicos, aplicações e resultados obtidos. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 67:221-237.
- Burg, J.P.; Iglesias, M.; Laurent, Ph.; Matte, Ph.; & Ribeiro, A. 1981. Variscan intracontinental deformation: the Coimbra-Cordoba shear zone (SW Iberian Peninsula). *Tectonophysics*, 78:161-177.
- Campos Neto, M.C. & Basei, M.A.S. 1983. Evolução estrutural brasileira do nordeste de São Paulo: dobramentos superpostos e esboço estratigráfico e tectônico. In: SBG/ Núcleo São Paulo, Simpósio Regional de Geologia, 1. São Paulo, Atas, 61-78.
- Campos Neto, M. C., Basei, M. A. S., Artur, A. C., Silva, M. E., Machado, R., Dias Neto, C. M., & Fragoso César, A. R. 1983. Geologia das folhas Piracema e Igaratá. In: SICT/PRO-MINERIO/IPT, Jornada sobre a carta geológica do Estado de São Paulo em 1:50 000, Atas, 61-78.
- Campos Neto, M.C.; Basei, M.A.S.; Alves, F.R. & Vasconcellos, A.C.B.C. 1984. A Nappe de Cavalgamento Socorro (SP-MG). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 33. Rio de Janeiro, Anais, 4:1809-1822.
- Campos Neto, M. C., Basei, M. A. S. & Bergman, M. 1988. Geologia da Folha Ribeirão do Engenho, 1:25 000. IGUSP/PRO-MINERIO, 1, 71pp (inédito).
- Campos Neto, M. C. & Figueiredo, M. C. H. 1995. The Rio Doce Orogeny, Southeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 8:143-162.
- Cavalcante, J.C. & Kaefer, L.Q. 1974. Geologia da Folha de Santos (parcial). In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 28, Porto Alegre, Anais, 4:227-245.
- Cavalcante, J.C.; Cunha, H.C.S.; Chierigati, L.A.; Kaefer, L.Q.; Rocha, J.M.; Daitx, E.C.; Coutinho, M.G.N.; Yamamoto, K.; Drumond, J.B.V.; Rosa, D.B. & Ramalho, R. 1979. Projeto Sapucaí - Relatório Final de Geologia. MME/DNPM, 299p.
- Ebert, H. D., Chemale, F., Babinski, M., Artur, A. C. & Van Schmus, W. R. 1996. Tectonic setting and U/Pb zircon dating of the plutonic Socorro Complex in the transpressive Rio Paraíba do Sul Shear Belt, SE Brazil. *Tectonics*, 15:688-699.
- Fossen, H.; Tikoff, B. & Teyssier, C. (1994) Strain modeling of transpressional and transtensional deformation. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 74:134-145.
- Hamner, S. & Paschier, C.W. 1991. Shear-sense indicators: a review. *Geol. Survey of Canada, Paper* 90-17.
- Harland, W.B. (1971) Tectonic transpression in Caledonian Spitsbergen. *Geological Magazine*, 108:27-42.
- Hasui, Y., Penalba, F. & Hennies, W.T. 1969. Geologia do Grupo São Roque. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 23 Salvador, Anais, 101-134.
- Hasui, Y., Ponçano, W.L., Bistrichi, C.A., Stein, D.P., Galvão, C.A.C.F., Gimenez, A.F., Almeida, M.A., Melo, M.S. & Pires Neto, A.G. 1977. As grandes falhas do leste paulista. In: SBG/ Núcleo São Paulo, Simpósio regional de Geologia, 1, São Paulo, Atas, 369-438.
- Hasui, Y., Fonseca, M. G. & Ramalho, R. 1984. A parte central da região de dobramentos sudeste e o maciço mediano de Guaxupé. In: C. Schobbenhaus, D. A. Campos, G. R. Derze e H. E. Asmus (ed.) *Geologia do Brasil*. DNPM/DGM, Brasília, 307-328.
- Janasi, V. A. & Ulbrich, H. G. J. 1991. Late Proterozoic granitoid magmatism in the state of São Paulo, southeastern Brazil. *Precambrian Research*, 51:351-374.
- Janasi, V. A., Vlach, S. R. F. & Ulbrich, H. G. J. 1993. Enriched-mantle contributions to the Itua Granitoid Belt, southeastern Brazil: evidence from K-rich diorites and syenites. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 65 (supl. 1):107-118.
- Juliani, C.; Beljavskis, P. & Schorscher, H.D. 1986. Petrogênese do vulcanismo e aspectos metalogenéticos associados: Grupo Serra do Itaberaba na região do São Roque-SP. In: SBG, congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, Anais, 2:730-743.
- Juliani, C. & Beljavskis, P. 1995. Revisão da litoestratigrafia da Faixa São Roque/Serra do Itaberaba (SP). *Rev. Inst. Geol., São Paulo*, 16(1/2):33-58.
- Lister, G.S. (1977) Discussion: crossed-girdle C-axis fabrics in quartzites plastically deformed by plane strain and progressive simple shear. *Tectonophysics*, 39:51-54.
- Machado, N., Valladares, C., Heilbron, M. & Valeriano, C. M. 1996. U-Pb geochronology of the central Ribeira Belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. *Precambrian Research*, 79:347-361.
- Mainprince, D. (1992) Fabric 7. Programa desenvolvido no Laboratoire de Tectonophysique da Université Montpellier II. (inédito).
- Passchier, C.W. & Trouw, R.A.J. (1996). *Microtectonics*. Springer, 289p.
- Schmid, S.M. & Casey, M. 1986. Complete fabric analysis of some commonly observed quartz C-axis patterns. *Am. Geophys. Un. Geophysical Monograph*, 36:263-286.
- Simpson, C. 1986. Determination of movement sense in mylonites. *Jour. Geological Education*, 34:246-261.
- Tassinari, C. C. G., Taylor, P. N. & Kawashita, K. 1987. Sr and Pb isotope evolution of granitoids in the São Paulo region, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 17:519-523.
- Töfner, C. 1996. Brasiliano-Granitoide in den Bundesstaaten São Paulo und Minas Gerais, Brasilien eine Vergleichende Studie. *Münchner Geologische Hefte*, A 17, 258 p.
- Van Schmus, W.R.; Tassinari, C.C.G. & Cordani, U.G. (1986) Estudo geocronológico da parte inferior do Grupo São Roque. In: SBG, Congresso Brasileiro de Geologia, 34, Goiânia, 3:1399-1406.

Manuscrito A923

Recebido em 10 de junho de 1997

Revisão dos autores em 15 de janeiro de 1998

Revisão aceita em 16 de janeiro de 1998