

CAPÍTULO 2. GEOTECTÔNICA

Neste capítulo apresenta-se uma compilação de trabalhos que abordam a definição, componentes geotectônicos, compartimentação tectônica e o modelo evolutivo adotados para o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, com ênfase na sua parte situada em território brasileiro, o Orógeno Araçuaí, onde se localiza o Grupo Rio Doce.

2.1. Definição e Componentes Geotectônicos

O sistema orogênico brasileiro-panafricano do Paleocontinente Gondwana é um conjunto de orógenos neoproterozóicos diacrônicos, do qual faz parte a Província Mantiqueira (Brito-Neves *et al.*, 1999; Almeida *et al.*, 2000; Heilbron *et al.*, 2004). O Orógeno Araçuaí representa o segmento setentrional da Província Mantiqueira (Fig. 1). A Faixa Congo Ocidental é a contraparte do Orógeno Araçuaí, que foi herdada pela África após a abertura do Oceano Atlântico (Fig. 2).

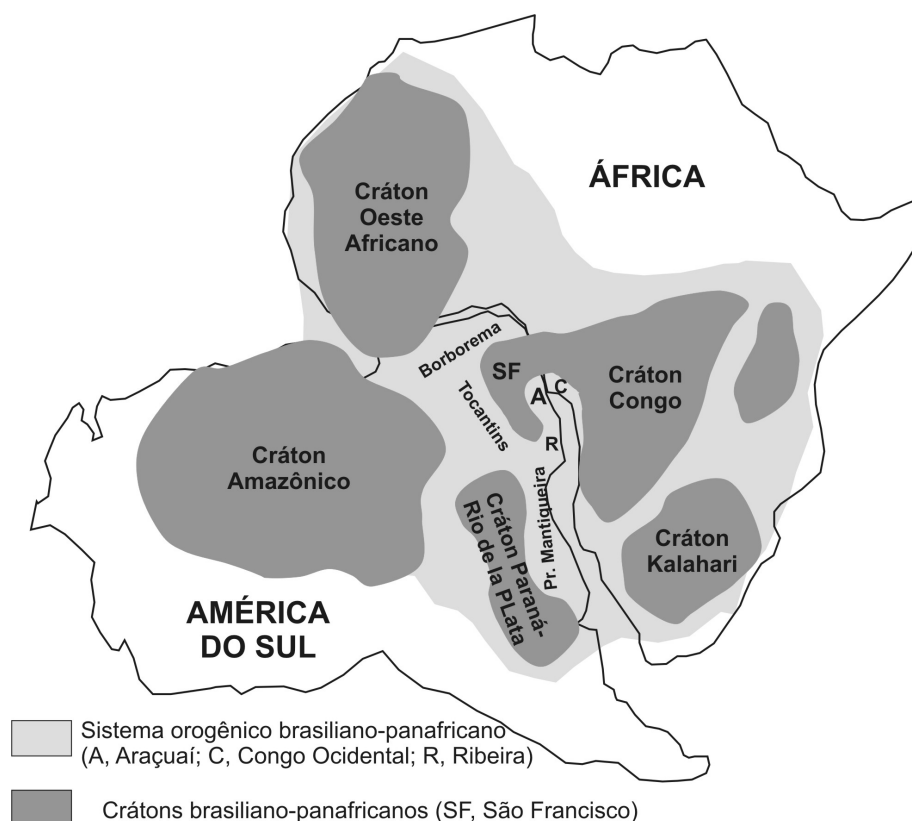


Figura 1. Parte do sistema orogênico brasileiro-panafricano do Gondwana Ocidental (modificado de Alkmim *et al.*, 2006).



Figura 2. Localização do Orógeno Araçuai e Faixa Congo Ocidental em relação aos crátons do São Francisco e Congo, e Orógeno Ribeira (modificado de Alkmim *et al.*, 2006)

A elaboração conceitual que levou à definição do Orógeno Araçuai-Congo Ocidental apareceu em Pedrosa-Soares & Noce (1998) e foi detalhada em Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000) e Pedrosa-Soares *et al.* (2001), que o caracterizaram como orógeno derivado de uma bacia parcialmente oceanizada, cujo processo de subducção da litosfera oceânica se deu no sentido do Cráton do Congo (Fig. 3). Esta caracterização do Orógeno Araçuai-Congo Ocidental viabilizou-se após a descoberta de remanescentes ofiolíticos neoproterozóicos (Pedrosa-Soares *et al.*, 1992, 1998), e de estudos que identificaram a Suíte Galiléia e correlatos como representantes do arco magmático neoproterozóico (Nalini, 1997; Pinto *et al.*, 1997; Aracema *et al.*, 1999; Noce *et al.*, 2000).

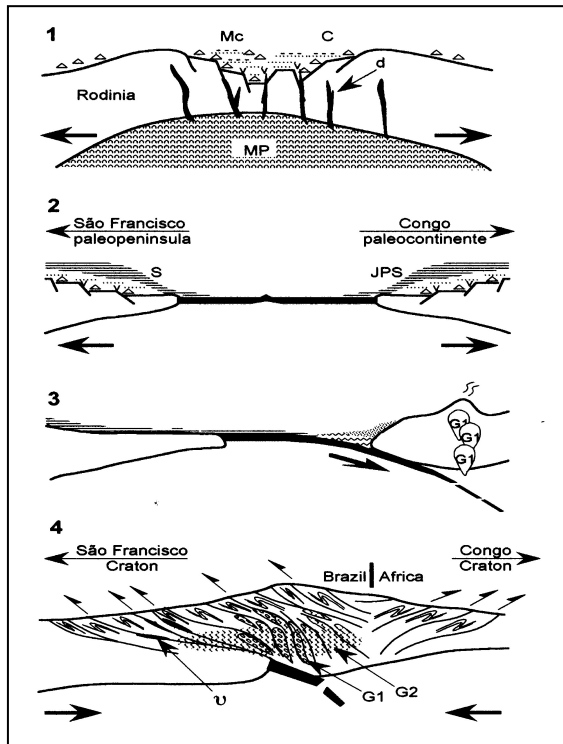


Figura 3. Modelo evolutivo proposto por Pedrosa-Soares & Noce (1998), Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000) e Pedrosa-Soares *et al.* (2001) para a evolução do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental. A partir do estágio de rifte continental (1), o segmento sul da bacia precursora experimentaria espalhamento de litosfera oceânica (2) e, posteriormente, sofreria subducção no sentido do Cráton do Congo (3), induzindo a geração do arco magmático (G1). A etapa 4 ilustra o estágio sincolisional.

Conseqüentemente, modificou-se a concepção geotectônica sobre uma região orogênica neoproterozóica que era considerada exclusivamente ensiálica (*e.g.*, Brito-Neves & Cordani, 1991; Trompette, 1994). O pano de fundo do modelo ensiálico era a existência de uma ponte continental que teria mantido os crátons do São Francisco e Congo unidos, desde *ca.* 2 Ga até a abertura do Oceano Atlântico (Porada, 1989; Ledru *et al.*, 1994). Esta ponte cratônica, localizada na altura das regiões da Bahia e Gabão (Fig. 2), teria inibido a abertura da bacia e a formação de litosfera oceânica (*e.g.*, Trompette, 1994). O arco magmático neoproterozóico também era desconhecido em termos geoquímicos e isotópicos, embora a identificação do "Tonalito Galiléia" remonte ao início da década de 1960 (Barbosa *et al.*, 1964, 1966).

Contudo, a existência pretérita da ponte cratônica Bahia-Gabão, que aparece em todas as reconstruções do Paleocôntinente São Francisco-Congo (*e.g.*, D'Agrella-Filho *et al.*, 1990, 2004; Brito-Neves & Cordani, 1991; Trompette, 1994), assim como a ausência de restos ofiolíticos e de arco magmático pré-colisional no setor norte do Orógeno Araçuaí (*e.g.*, Pedrosa-Soares *et al.*, 1992; Grossi-Sad *et al.*, 1997; Pinto *et al.*, 1997; Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000), levaram Pedrosa-Soares *et al.* (2001, 2003) a elaborar o conceito de orógeno confinado. Este conceito busca explicar a configuração e os componentes geotectônicos esperados para orógenos

resultantes da inversão de bacias parcialmente oceanizadas, situadas em reentrâncias continentais, a exemplo de bacias marinhas interiores (*inland-sea basins*; e.g., Golfo do México) e de riftes do tipo Mar Vermelho. O conceito de orógeno confinado foi adotado no livro de Rogers & Santosh (2004) como um termo intermediário entre orógenos intercratônicos (*i.e.*, orógenos de margem de placa) e intracratônicos (*i.e.*, orógenos ensiálicos, resultantes da inversão de aulacógenos).

Desta forma, o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental se caracteriza como um orógeno confinado, pelos seguintes motivos (Pedrosa-Soares *et al.*, 2001, 2003, 2007):

- A bacia precursora evoluiu na reentrância limitada pelos crátons do São Francisco e Congo, *i.e.*, fechada a norte pela ponte cratônica Bahia-Gabão, mas aberta a sul, rumo à bacia precursora do Orógeno Ribeira (Fig. 2).

- O setor norte desta bacia permaneceu ensiálico, mas no setor meridional ocorreu abertura oceânica atestada pelos remanescentes ofiolíticos e formação de arco magmático em ambiente de margem continental ativa (Fig. 4).

A partir desta conceituação, a contraparte brasileira do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental ou, simplesmente, Orógeno Araçuaí, passou a designar a região orogênica que se estende desde o limite leste do Cráton do São Francisco até o litoral atlântico, aproximadamente entre os paralelos 15º e 21º S. A fronteira setentrional do Orógeno Araçuaí descreve uma grande curvatura, com concavidade voltada para sul (Almeida, 1977). Recentemente, Alkmim *et al.* (2006) estenderam para norte o limite setentrional do Orógeno Araçuaí, adentrando o segmento meridional do Corredor do Paramirim (Fig. 4).

O limite meridional do Orógeno Araçuaí, embora ainda não determinado com precisão, é balizado pela extremidade sul do Cráton do São Francisco, ou seja, pelo paralelo 21º S, onde a estruturação brasileira de direção NE, característica do Orógeno Ribeira, sofre inflexão para NNE a N-S (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000).

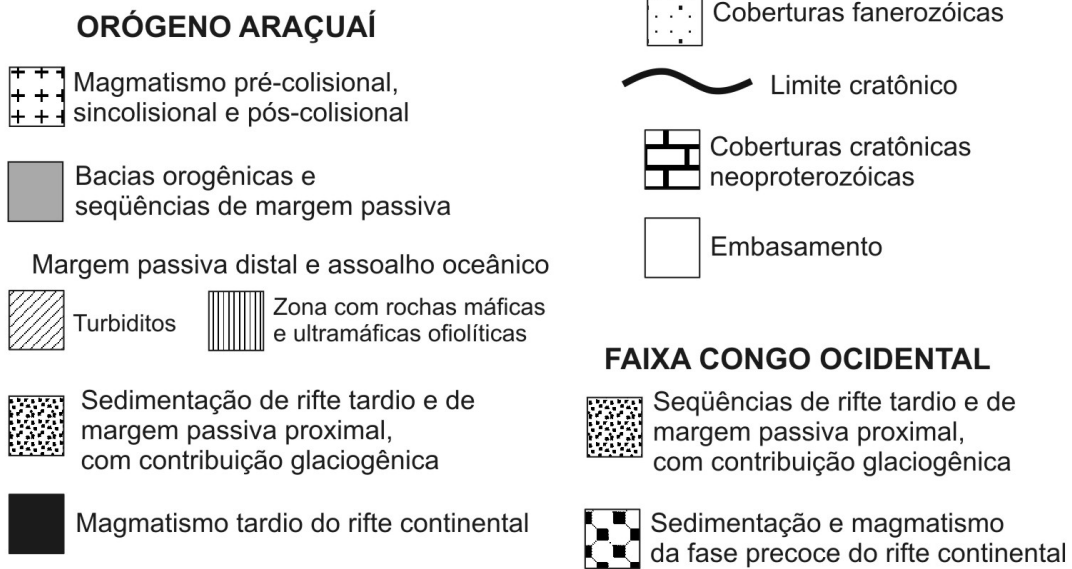
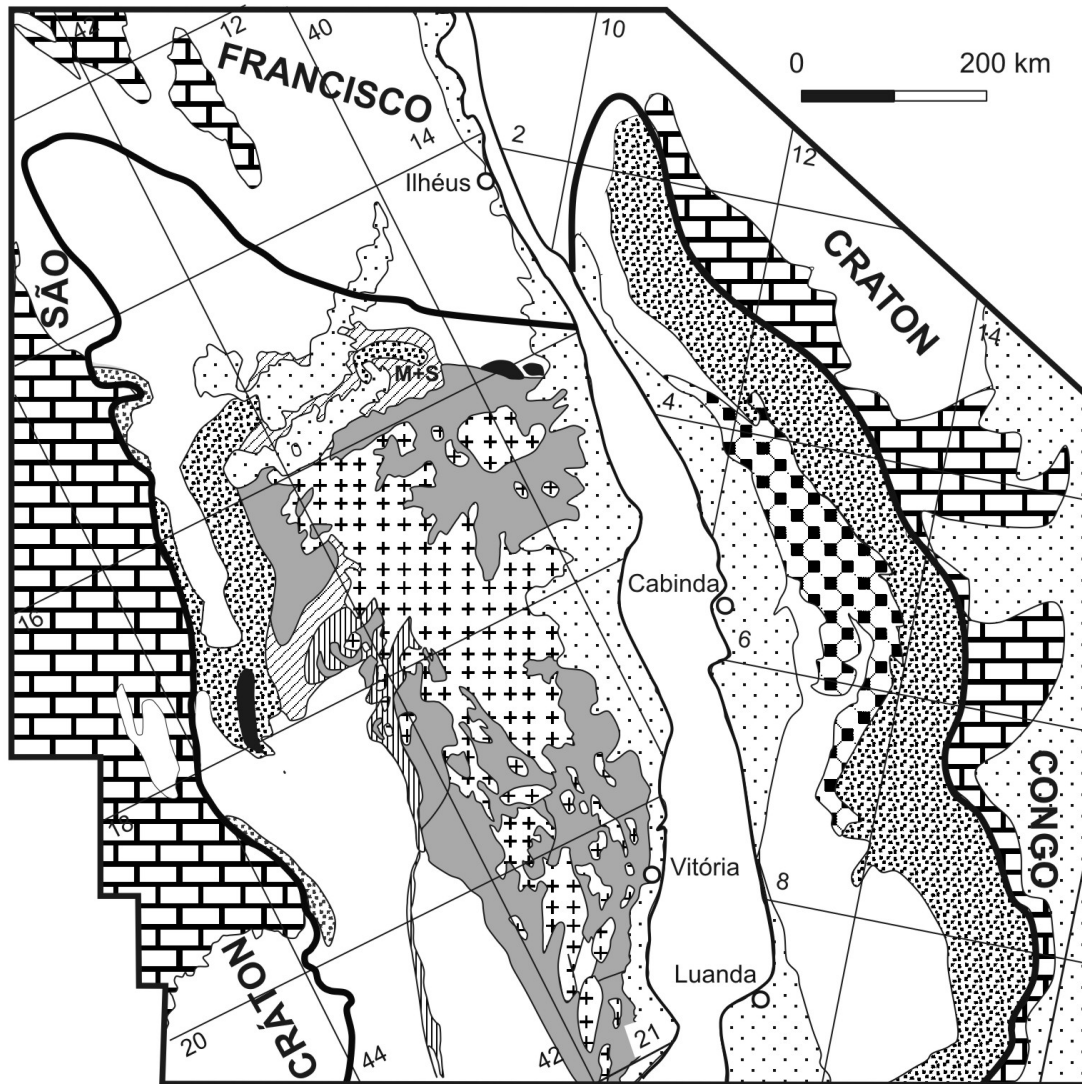


Figura 4. Mapa de componentes geotectônicos do Orógeno Araçuaí e Faixa Congo Ocidental (Pedrosa-Soares *et al.*, 2007)

Desta forma, o Orógeno Araçuaí inclui a Faixa de Dobramentos Araçuaí, conforme originalmente definida por Almeida (1977); *i.e.*, a faixa de dobramentos brasileiros marginal que descreve o limite leste do Cráton do São Francisco. Também no Orógeno Araçuaí situa-se a região dominada por rochas granitóides e metamórficas de alto grau, neoproterozóicas e cambrianas, situadas entre os paralelos 19° e 21° S, que eventualmente foram consideradas como parte da Faixa Ribeira (*e.g.*, Almeida & Hasui, 1984; Trouw *et al.*, 2000), ou englobadas no "Orógeno Rio Doce" (Campos-Neto & Figueiredo, 1995), dentre outras denominações. De fato, como mostra o mapa geológico (em anexo), na região entre os paralelos 19° e 21° S estão expostos diversos corpos da Suíte G1, que representa o plutonismo cálcio-alcalino do arco magmático do Orógeno Araçuaí, cujas idades variam entre *ca.* 630 e 570 Ma (Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000; Campos *et al.*, 2004; Silva *et al.*, 2005; e referências citadas nestes trabalhos).

A despeito da arquitetura tectônica grosseiramente simétrica (*e.g.*, Trompette, 2004; Alkmim *et al.*, 2006), o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental foi dividido em duas partes muito diferentes, embora complementares, em decorrência da abertura do Oceano Atlântico (Pedrosa-Soares *et al.*, 2007). O Orógeno Araçuaí herdou cerca de dois terços do conjunto orogênico, ficando com os componentes geotectônicos principais, tais como, extensa sedimentação de margem passiva, os remanescentes ofiolíticos, todo o arco magmático pré-colisional, unidades metassedimentares representantes de bacias orogênicas que receberam contribuição deste arco, os granitos sincolisionais e o magmatismo pós-colisional. Na Faixa Congo Ocidental restaram a espessa e extensa pilha vulcano-sedimentar do estágio de rifte continental e unidades da margem passiva proximal (Fig. 4).

É importante enfatizar que, a partir da identificação de componentes geotectônicos acima referida, elaborou-se a principal hipótese de trabalho da presente tese, sintetizada nas questões abaixo:

- Seria o Grupo Rio Doce um representante supracrustal do arco magmático do Orógeno Araçuaí?
- Existiriam, neste grupo, rochas representantes do vulcanismo deste arco?

2.2. Compartimentação Tectônica

As compartimentações tectônicas maiores do Orógeno Araçuaí foram apresentadas por Uhlein (1991), Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos (2000) e Heilbron *et al.* (2004), que o subdividiram nos domínios de antepaís (cobertura deformada do Cráton do São Francisco), externo (ocidental ou proximal, caracterizado por empurrões e dobramentos vergentes contra o cráton, e metamorfismo de baixo grau) e interno (oriental ou distal, rico em rochas de alto grau metamórfico e plutonismo granitóide que representam o núcleo do orógeno).

Recentemente, Alkmim *et al.* (2006) apresentaram uma subdivisão em domínios estruturais, elaborada com base na análise cinemática regional, para todo o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental (Fig. 5). A zona interna de alto grau metamórfico (domínio 7, Fig. 5) interessa particularmente a esta tese, pois inclui toda a área de ocorrência do Grupo Rio Doce (Fig. 6). Este domínio estrutural pode ser subdividido em dois subdomínios, em função das variações no sentido de transporte tectônico relacionado aos empurrões do estágio sincolisional e da importância das transcorrências.

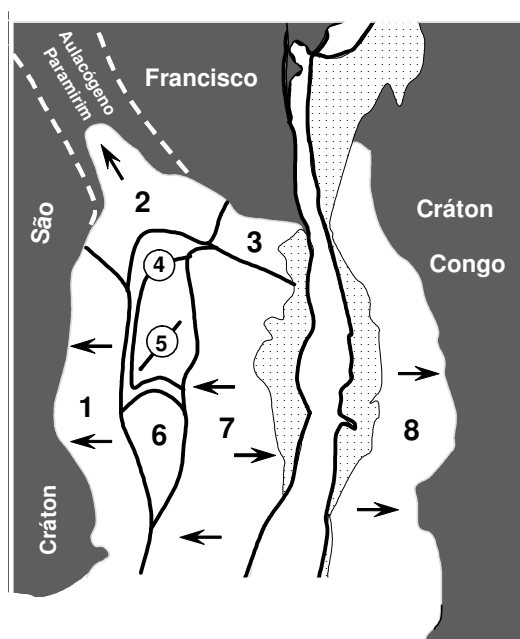


Figura 5. Domínios estruturais do Orógeno Araçuaí – Congo Ocidental (modificado de Alkmim *et al.*, 2006). As setas indicam o transporte tectônico do estágio sincolisional.

- 1, Faixa de dobramentos e empurrões;
- 2, Saliência do Rio Pardo;
- 3, Zona transcorrente de Itapebi;
- 4, Zona de colapso Chapada Acauã;
- 5, Corredor transpressivo de Minas Novas;
- 6, Bloco de embasamento Guanhões;
- 7, Zona interna de alto grau metamórfico;
- 8, Faixa Congo Ocidental.

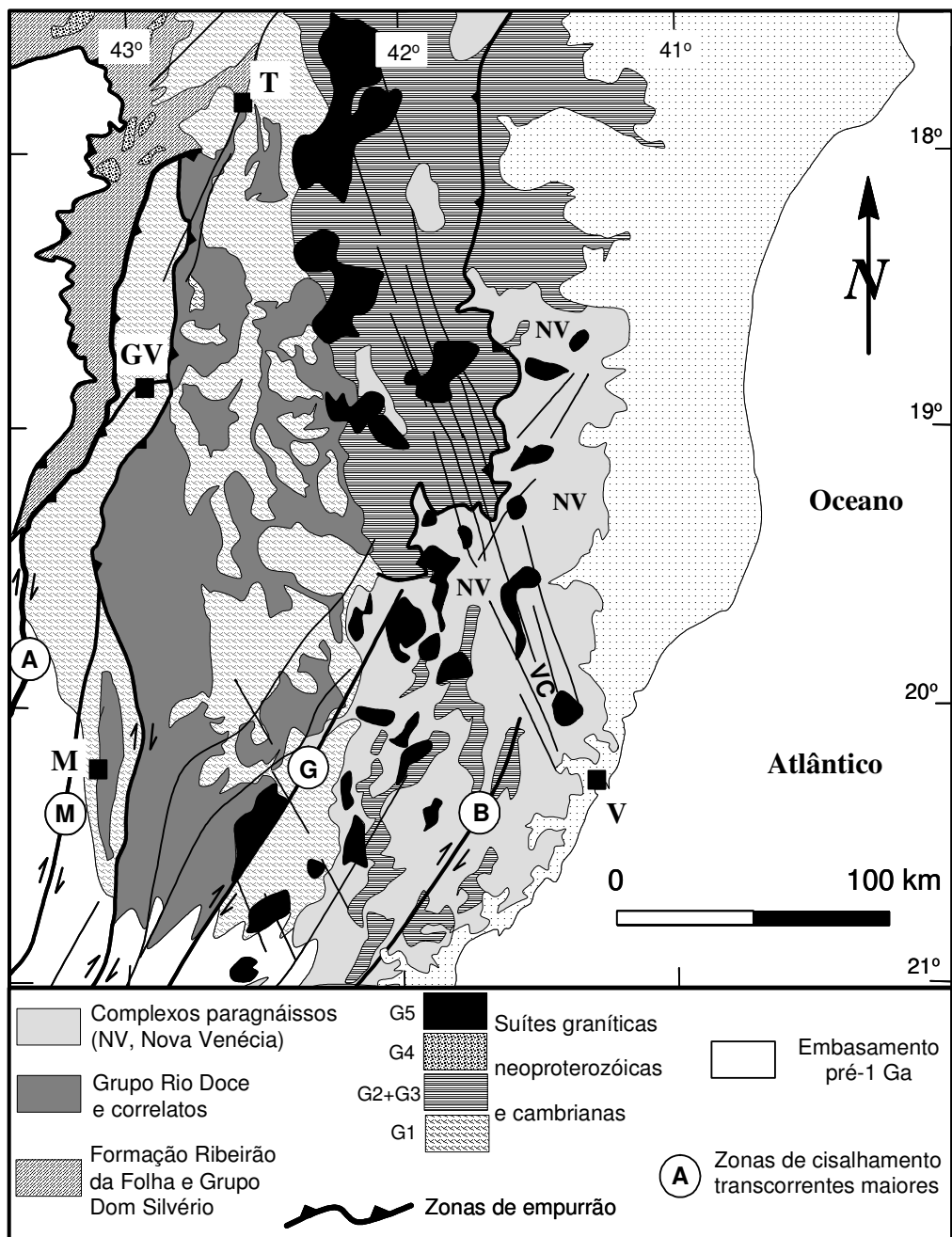


Figura 6. Zona interna de alto grau metamórfico (modificado de Alkmim *et al.*, 2006). As zonas de cisalhamento transcorrentes maiores são Abre Campo (A), Batatal (B), Guaçuí (G) e Manhuaçu (M). VC indica o sistema de lineamentos Vitória-Colatina. Cidades: GV, Governador Valadares; M, Manhuaçu; T, Teófilo Otoni; V, Vitória.

No sub-domínio meridional da zona interna de alto grau metamórfico, cujo limite norte é balizado pelo paralelo 20° S, a cinemática relacionada às zonas de cisalhamento de empurrão e ao dobramento da fase de deformação principal, mostra transporte tectônico para oeste (Fig. 7). São muito marcantes as transcorrências destrais, tardias em relação aos empurrões da fase sincolisional, exemplificadas pelas zonas de cisalhamento de Abre Campo, Manhauçu, Guaçuí e Batatal (*e.g.*, Costa *et al.*, 1993; Vieira, 1997a; Cunningham *et al.*, 1998; Pedrosa-Soares & Wiedemann-Leonardos, 2000; Peres *et al.*, 2004; Alkmim *et al.*, 2006; Horn *et al.*, 2006; Noce *et al.*, 2006).

O subdomínio setentrional da zona interna de alto grau metamórfico é a região que interessa diretamente a esta tese, pois ali se encontra a área de ocorrência do Grupo Rio Doce (*s.s.*). Transcorrências são de menor importância neste subdomínio, que apresenta predominância de empurrões de médio a baixo ângulo de mergulho (Fig. 6 e 7). Neste subdomínio, Pedrosa-Soares *et al.* (2001, 2003, 2006) e Alkmim *et al.* (2006) identificaram a ampla predominância do transporte tectônico de capa para leste, relacionado à foliação regional e zonas de empurrão do Orógeno Araçuaí, na região que compreende o norte do Espírito Santo, sul da Bahia e leste de Minas. Esta região corresponde, estruturalmente, ao segmento setentrional da Faixa Congo Ocidental, onde o transporte tectônico do estágio sincolisional é frontalmente contra o Cráton do Congo (Maurin, 1993; Tack *et al.*, 2001). Desta forma, este subdomínio da zona interna de alto grau metamórfico mostra a dupla vergência da fase de deformação principal, sendo seu setor ocidental marcado por transporte tectônico para oeste, contra o Cráton do São Francisco, e o setor oriental caracterizado por transporte para leste, rumo ao Cráton do Congo.

É importante enfatizar que a presente tese busca demonstrar que a região do arco magmático do Orógeno Araçuaí, a norte do paralelo 20° S, contém a zona onde ocorre a mudança de vergência (*i.e.*, do sentido do transporte tectônico) relacionada ao estágio sincolisional (ver Capítulo 4).

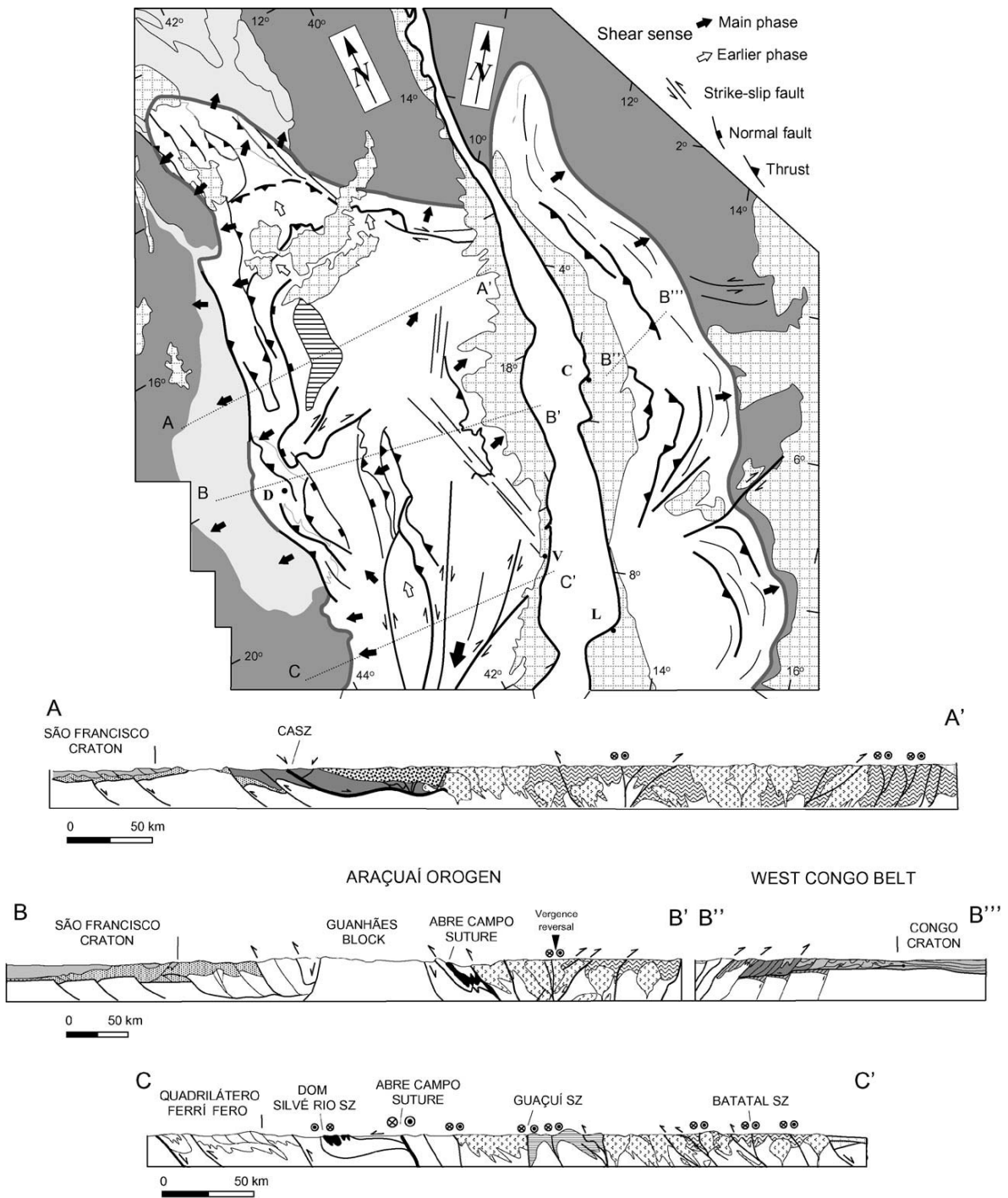


Figura 7. Sinopse cinemática do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, em mapa e perfis (retirado de Alkmim *et al.*, 2006). A seção CC' ilustra a cinemática no subdomínio meridional da zona interna de alto grau metamórfico, e as seções BB' e AA' no subdomínio setentrional. A seção B''B''' mostra o transporte tectônico do estágio sincolisional na Faixa Congo Ocidental. Cidades: C, Cabinda; D, Diamantina; L, Luanda; V, Vitória. SZ, zona de cisalhamento.

2.3. Modelo Evolutivo

Os primeiros modelos evolutivos apresentavam a Faixa Araçuaí como produto de evento compressivo ensialítico, pois tinham como premissa a suposta ausência de litosfera oceânica (*e.g.*, Siga-Júnior, 1986; Uhlein, 1991; Trompette *et al.*, 1992). A partir das descobertas dos remanescentes ofiolíticos e do arco magmático neoproterozóicos, a anatomia incomum do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental tem inspirado concepções de modelos evolutivos alternativos, tanto em relação aos orógenos de margens de placa quanto em relação aos orógenos ensialíticos, a exemplo dos que foram apresentados por Pedrosa-Soares *et al.* (1992, 1998, 2001), Maurin (1993), Campos-Neto & Figueiredo (1995) e Trouw *et al.* (2000). Entretanto, todos estes modelos carecem de um mecanismo motriz capaz de explicar o processo de subducção em uma bacia apenas parcialmente oceanizada, relativamente estreita e travada por uma ponte cratônica (*i.e.*, uma bacia que não poderia contar com o peso da litosfera oceânica para dar início a subducção).

Recentemente, Alkmim *et al.* (2003, 2006), fundamentados em análise cinemática e inspirados pelo cenário geotectônico que resultou na amalgamação do Gondwana Ocidental, propuseram um modelo para a formação do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental, segundo o qual a subducção de litosfera oceânica é induzida por colisões à distância, por meio de um mecanismo que lembra o funcionamento de um quebra-nozes (Fig. 8), conforme se resume abaixo:

- No primeiro estágio evolutivo abre-se a Bacia Macaúbas, precursora do Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental (Fig. 8). Os aulacógenos Pirapora, Paramirim e Sangha, e uma zona transferente sinistral de direção NE, localizada na ponte Bahia-Gabão, acomodariam o alargamento do rifte continental e a expansão de litosfera oceânica no setor meridional da Bacia Macaúbas, similarmente ao que foi proposto por Pedrosa-Soares *et al.* (1992, um modelo inspirado na abertura do Mar Vermelho). Esta zona transferente teria como testemunho o amplo sistema de lineamentos Itabuna, localizado no Cráton do São Francisco (no sul da Bahia e extremo nordeste de Minas), ao longo do qual diques máficos (D'Agrella-Filho *et al.*, 1990) e intrusões alcalinas

(Teixeira *et al.*, 1997; Rosa *et al.*, 2004; 2005) se alojaram desde ca. 1 Ga a ca. 700 Ma, indicando sítios extensionais localizados sobre pluma mantélica de longa duração. Este intervalo de tempo, entretanto, cobre desde as primeiras manifestações do fraturamento continental até as últimas intrusões alcalinas neoproterozóicas, no Cráton do São Francisco. No território do Orógeno Araçuaí, a fase rifte é balizada pelas idades U-Pb SHRIMP dos granitos anorogênicos de Salto da Divisa (875 +/- 9 Ma, zircão; Silva *et al.*, 2002, 2007), localizados na extremidade sul do sistema de lineamentos Itabuna, e dos grãos de zircão detrítico mais novos da unidade basal (pré-glaciação) do Grupo Macaúbas (900 +/- 21 Ma; Babinski *et al.*, em preparação, *in* Pedrosa-Soares *et al.*, 2007). Abertura oceânica é indicada por remanescentes ofiolíticos, cuja idade isocrônica Sm-Nd é 816 +/- 72 Ma (Pedrosa-Soares *et al.*, 1998, 2001; Suita *et al.*, 2004; Queiroga *et al.*, 2006).

- No segundo estágio ocorrem, principalmente, os processos de subducção e edificação do arco magmático (Fig. 8). A tectônica quebra-nozes é posta em marcha quando as paleoplacas São Francisco-Congo, Amazônia, Paraná-Paranapanema-Rio de la Plata e Kalahari iniciam sua interação convergente, que culminará na amalgamação do Gondwana Ocidental. A existência da ponte continental Bahia-Gabão, aliada ao pequeno tamanho da litosfera oceânica na bacia Macaúbas impossibilitariam a iniciação de subducção pelo processo usual (*i.e.*, controlado pelo peso da litosfera oceânica). Seria necessário, portanto, que se tivesse subducção forçada, induzida por ação à distância. A posição do Palecontinente São Francisco-Congo no centro de um conjunto de placas em convergência, no cenário da amalgamação do Gondwana, torna possível a indução de subducção pelas colisões à distância. A edificação do arco magmático perdura de ca. 630 Ma a ca. 580 Ma. O início deste estágio é contemporâneo à colisão do Palecontinente Paraná-Paranapanema com a borda sudoeste da Península do São Francisco (*e.g.*, Valeriano *et al.*, 2004). O modelo quebra-nozes implica em rotações, respectivamente, anti-horária e horária, da península São Francisco e do continente Congo, com o conseqüente fechamento do ramo oceânico entre eles compreendido. Um quebra-nozes necessita da existência de, pelo menos, dois pontos neutros para acomodar o encurtamento verificado

na seção transversal do orógeno. Um deles tem localização evidente no

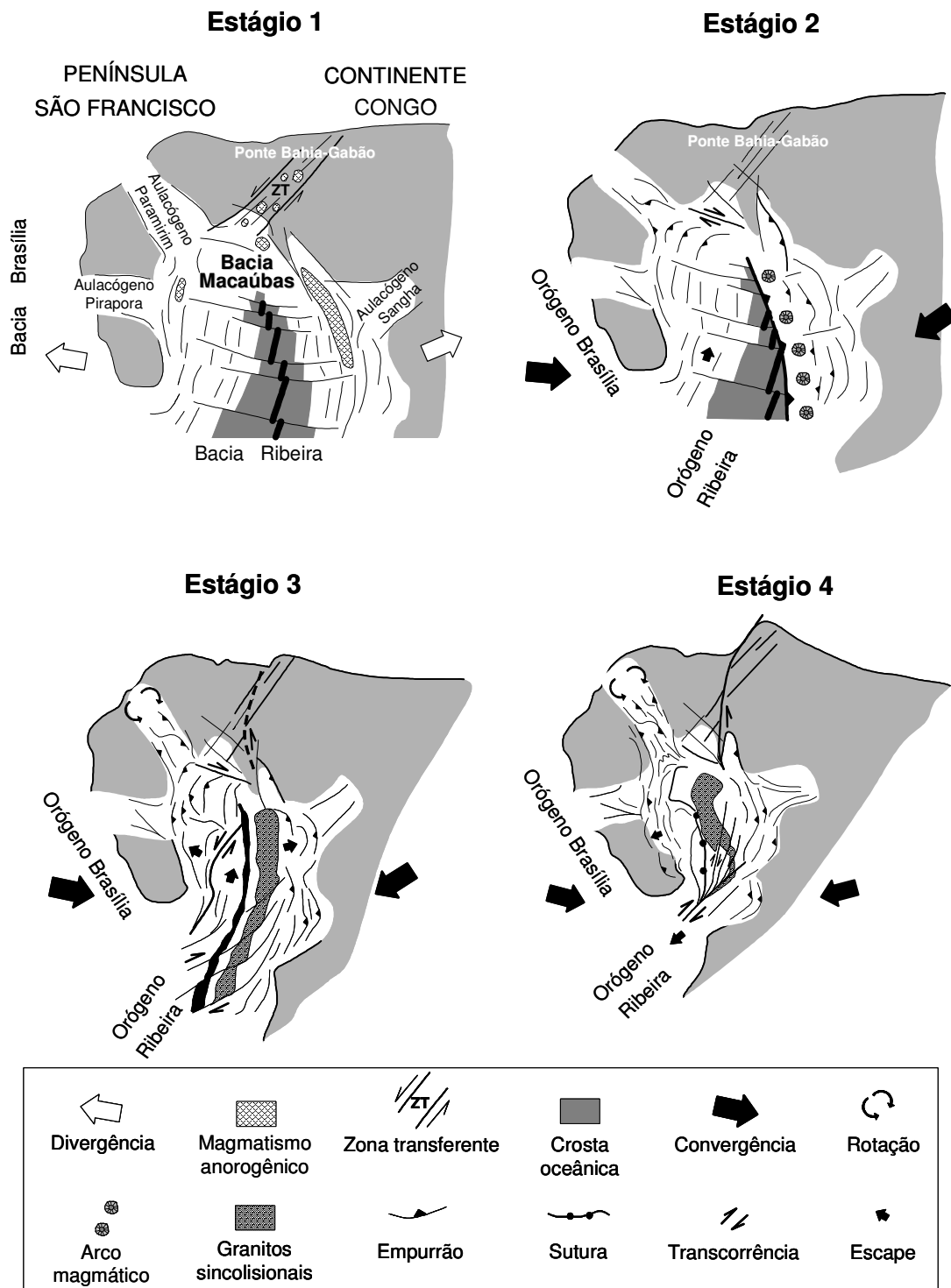


Figura 8. A Tectônica Quebra-Nozes como um modelo evolutivo para o Orógeno Araçuaí-Congo Ocidental (figura modificada de Alkmim *et al.*, 2003, 2006).

segmento norte do corredor de deformação do Paramirim, na porção setentrional do Cráton do São Francisco, onde a inversão neoproterozóica, praticamente inexistente, cresce gradualmente em direção a sul. O segundo ponto neutro teria sido migrante, posicionado em uma grande zona transferente/transformante, localizada atualmente em uma das margens continentais, sul-americana ou africana. A rotação horária do continente Congo daria origem, desta forma, a grande parte do *offset* entre as partes sul-americana e africana do orógeno, tal como se observa nas reconstruções do Gondwana Ocidental. A análise estrutural regional indica que as estruturas compressionais neoproterozóicas mais antigas são encontradas na porção meridional e interna do Orógeno Araçuaí, e se associam a transporte tectônico dirigido para norte. Tais estruturas são interpretadas como resultantes de uma indentação tectônica, acoplada à subducção oblíqua, dirigida para NNE. A zona de subducção estaria hoje representada pela Descontinuidade de Abre Campo.

- No terceiro estágio têm lugar os processos sincollisionais, tais como deformação e metamorfismo regionais e a geração de grande volume de granitos tipo S (Fig. 8). O quebra-nozes em ação continuada promove a convergência frontal das duas margens da bacia, no estágio colisional principal, também parcialmente induzido por ação à distância (desta feita, possivelmente, em virtude da colisão Amazônia-São Francisco). No clímax do processo ocorre a expansão das áreas orogênicas em direção às zonas de antepaís.

- O quarto estágio é marcado, inicialmente, por um grande escape lateral no sentido sul, rumo ao Orógeno Ribeira, de segmentos da zona interna de alto grau metamórfico do Orógeno Araçuaí. Este escape ficaria registrado pelo sistema de transcorrências destrais do leste de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. Diacronicamente, mas principalmente após o escape lateral, o Orógeno Araçuaí entra em colapso gravitacional, particularmente em sua porção central onde o processo é registrado por zonas de cisalhamento normais e pela geração de grande volume de granitos pós-colisionais.