

IV Simpósio de Vulcanismo e Ambientes Associados

Foz do Iguaçu, PR – 08 a 11/04/2008.

REMANESCENTES DE UMA ESTRUTURA DE SUBSIDÊNCIA DE CALDEIRA NEOPROTEROZÓICA, LAVRAS DO SUL, RS: PARTE 1. GEOLOGIA E MAGNETOMETRIA DO MONZODIORITO ARROIO DO JACQUES.

Maria do Carmo Gastal¹, Francisco José F Ferreira², Maria de Fátima Bitencourt¹

¹ Instituto de Geociências, UFRGS, Campus do Vale. Av. Bento Gonçalves, 9500 - Bairro Aeronômica. CEP 91650-002. Porto Alegre, RS. E-mail: maria.gastal@ufrgs.br; fatimab@ufrgs.br.

² Laboratório de Pesquisas em Geofísica Aplicada, Departamento de Geologia, UFPR, Centro Politécnico, Jardim das Américas, C.P. 19045, CEP.81531-980, Curitiba, PR. E-mail: francisco.ferreira@ufpr.br.

Resumo – O Complexo Intrusivo Lavras do Sul-CILS é um corpo ígneo alongado na direção NS e posicionado segundo fraturas de tensão geradas pelo movimento esquerdo do sistema de falhas transcorrentes NE-SW. O setor norte deste inclui o Monzonito Tapera, e o setor sul é constituído pelo *pluton* granítico principal. O Monzodiorito Arroio do Jacques – MAJ (599 ± 7 Ma) é um corpo alongado entre os dois setores, e sua extremidade leste é caracterizada por anomalia magnética dipolar. O mapeamento detalhado e a interpretação de dados aeromagnéticos permitiram o melhor entendimento da geometria e evolução desta região. As rochas encaixantes do MAJ incluem monzonito-dioritos e sua margem resfriada, um pacote de rochas vulcanoclásticas (Formação Hilário), e cornubianitos de fácies xistos verdes a *Px-hornfels*. A diversidade composicional e as estruturas destas rochas são atribuídas a eventos concorrentes: (1) basculamento do pacote de vulcanoclásticas na borda de uma caldeira localizada no sul; e (2) o posicionamento de *stock* de monzonito, cuja cúpula está preservada. A geração e posicionamento do MAJ estão relacionados à recarga na câmara após o evento de colapso. A sucessão de intrusões na borda da caldeira, em profundidade, explicam o regime termal elevado responsável pelo metamorfismo de contato extremo e atividade hidrotermal.

Palavras-Chave: Subsidência de caldeiras, magnetometria, Complexo Intrusivo Lavras do Sul, intrusões ressurgentes, metamorfismo de contato.

Abstract – The Lavras do Sul Intrusive Complex-CILS is a NS-trending igneous system emplaced along tensile fractures related to the sinistral movement of NE-trending transcurrent faults. Its northern sector includes the Tapera Monzonite, whereas the southern sector comprises the main granitic pluton. The Arroio do Jacques Monzodiorite – MAJ (599 ± 7 Ma) is an elongate body located between the two sectors. Its easternmost part is underlain by an important dipolar magnetic anomaly. Detailed mapping and interpretation of aeromagnetic data of this region lead to a better understanding of its geometry and evolution. The MAJ host rocks comprise monzonite-diorites and their chilled margins, an older volcanoclastic pile (Hilário Formation), and greenschist to pyroxene hornfels facies rocks. Compositional diversity and structure of these rocks testify to two contemporaneous events: (1) tilting of the volcanoclastic pile at the border of a subsiding cauldron situated southward, and (2) emplacement of a monzonite intrusion, whose cupula is presently exposed. The generation and emplacement of the studied monzodiorite are related to chamber recharge following the collapse event. Successive intrusions at the cauldron border in depth are responsible for a continued high thermal regime that lead to high grade contact metamorphism and hydrothermal activity.

Keywords: Cauldron subsidence, magnetometry, Lavras do Sul Intrusive Complex, resurgent intrusions, contact metamorphism.

1. Introdução

O Monzodiorito Arroio do Jacques - MAJ faz parte do Complexo Intrusivo Lavras do Sul – CILS de idade Neoproterozóica ($\approx 606\text{-}586$ Ma). DeRos & Fernandes (1981) descreveram estas rochas como charnoquitos (hiperstênio sienitos e diopsídio-biotita sienitos), retrometamorfizados em fácies anfibolito a xistos verdes. Segundo estes autores, tais rochas representariam um segmento do embasamento paleoproterozóico soergido durante o posicionamento dos granitos do CILS. Esta interpretação foi contestada por diversos autores com base em dados isotópicos, geoquímicos, petrográficos e relações de campo. Na concepção atual, o MAJ inclui Opx dioritos e monzodioritos cuja idade Pb-Pb de 599 ± 7 Ma (2σ) é idêntica, considerando as incertezas analíticas, à idade dos monzonitos do norte do CILS (Gastal *et al.*, 2006). Assim, sua formação e posicionamento são vinculados à evolução do complexo intrusivo. Na região do contato do MAJ com os monzonitos e a seqüência vulcânica cronocorrelata (Formação Hilário), marcada por importante anomalia magnética dipolar (Bentes *et al.*, 1977; III – Fig. 1B), ocorrem litologias diversas, incluindo tufos e monzonito-dioritos, além de cornubianitos de fácies xistos verdes até piroxênio *hornfels*. Além disso, o limite do complexo intrusivo com a seqüência vulcânica, nas proximidades, é delimitado por gradiente acentuado nas anomalias Bouguer, como assinalado na mesma figura. Tais feições, aliadas à complexidade de litologias, sugerem a borda de uma estrutura de subsidência de caldeira, o que motivou o mapeamento detalhado desta região. Os resultados são apresentados em duas partes. Nesta primeira parte, são discutidos a geologia e a interpretação de dados aeromagnéticos, e na segunda, são apresentados os dados petrográficos e mineralógicos.

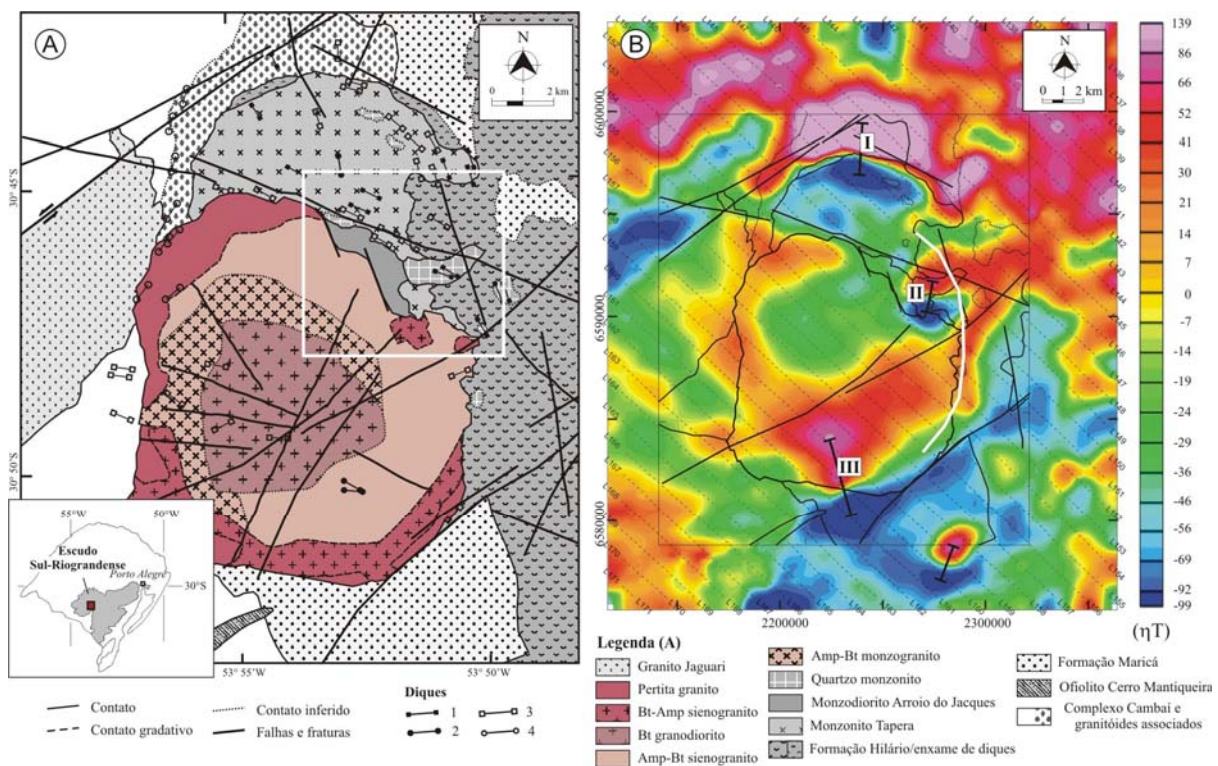


Figura 1. **A** - Mapa geológico do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, realçando a região detalhada na figura 2 (quadrado branco), diques: 1 – traquiandesito e espessartito, 2 – minete e Cpx-Bt andesito, 3 – dacito e Qtz monzonito e 4 – riolito metaluminoso; **B** - Mapa aeromagnético residual da mesma região, mostrando linhas de vôe e as principais anomalias dipolares, sendo três localizadas nos limites do complexo intrusivo (I a III); linha branca realça o gradiente nas anomalias Bouguer, que marca o limite do complexo intrusivo em profundidade, obtido de Gastal *et al.* (2006).

2. Geologia do Complexo Intrusivo

O Complexo Intrusivo Lavras do Sul-CILS e as vulcânicas correlatas (Formação Hilário) representam um dos primeiros eventos ígneos do final do Neoproterozóico, pós-colisional à orogênese Dom Feliciano (660-620 Ma), que ocorreu no oeste do Escudo Sul-Riograndense. O CILS está situado no sudeste do arco magmático São Gabriel, próximo ao limite com os segmentos cratônicos (Fig. 1A). É intrusivo em granitóides cálcio-alcálicos baixo K do arco (900-700 Ma) e nas unidades basais da Bacia de Camaquã (formações Maricá e Hilário), e é seccionado pelo Granito Jaguari (567 ± 4 Ma). Inclui o Monzonito Tapera-MT no setor norte, o *pluton* granítico principal no sul (antigo Complexo Granítico de Lavras), e o Monzodiorito Arroio do Jacques que forma um corpo estreito entre os dois setores (Fig. 1A). O MT tem a forma de meia-lua, incluindo diorito, monzodiorito e monzonito com zonação normal e foliação magmática bem definida, paralela aos contatos. Este corpo é seccionado no sul por zona de falha de direção N75°W, segundo a qual estão alojados diques de traquiandesito, lamprófito, riolito e quartzo monzonito. Pequenos *stocks* de quartzo monzonito porfirítico-QMP exibem contatos ora gradativos ora bruscos com o MT. O *pluton* principal exhibe

zonação reversa e inclui granitos não-foliados. Biotita granodiorito e anfíblio-biotita monzogranito híbrido estão no núcleo, e os granitos alcalinos (biotita-anfíblio sienogranito e pertita granito) formam corpos semicirculares periféricos. As idades U-Pb e Pb-Pb em zircões dos granitóides do CILS, discutidas em Gastal *et al.* (2005), revelam que: (1) o monzogranito híbrido representa o evento mais antigo, ao redor 604 Ma; (2) o granodiorito do núcleo do pluton principal, o MT e o MAJ, com idades de ≈ 601 -599 Ma (Fig. 2A), foram formados em eventos muito próximos ou contemporâneos, definindo assim o principal período de produção de magma; (3) os granitos alcalinos representam pulsos tardios, com idades variáveis entre 598 Ma (sienogranito) e 590-586 Ma (pertita granito).

As estruturas rúpteis regionais compreendem dois sistemas transcorrentes principais: Sistema Levógiro Irapuá, de direção NE-SW, e Sistema Dextral Ibaré, de direção NW-SE (Roldão, 2000), os quais representam, em grande parte, reativações em nível raso de estruturas dúcteis pré-existentes. A reativação rúptil das estruturas NE é constatada a norte do CILS, com o mesmo sentido esquerdo da movimentação dúctil original, porém com importante componente oblíqua (Bitencourt *et al.*, 2006). Os dois sistemas rúpteis afetam de modo significativo a Formação Maricá, cujas camadas possuem mergulho de 30° a 60° para SE ao norte do MT. As estruturas rúpteis de direção NS deslocam as demais e estão associadas a intensa cataclase. A construção do complexo intrusivo foi balizada por duas zonas de falha de direção NE-SW que são estruturas profundas, como revelam os dados aeromagnéticos (Gastal *et al.*, 2006). Segundo Andrade & Strieder (1997), a migração do centro magmático do CILS, de norte para sul, estaria associada à movimentação dessas duas zonas de falha. De fato, a geometria do CILS como um todo revela uma estrutura elíptica com eixo maior na direção NS (Fig. 1A), o que é compatível com a orientação de fraturas trativas do tipo *tension gashes* relacionadas à movimentação esquerda das zonas de transcorrência NE em condições rúpteis. As estruturas de direção NW-SE a WNW-ESE controlam a segmentação do complexo intrusivo em dois setores e atuaram como condutos importantes de magmas. Segundo o modelo para os sistemas de subsidência de caldeiras, discutido em Gastal *et al.* (2006), após a formação da câmara magmática precursora associada ao alojamento do MT, houve a subsidência da parte sul controlada pelas estruturas rúpteis WNW-ESE e NS, onde posteriormente ocorreu a ressurgência responsável pela formação do pluton principal, como confirmado pelo estudo de anisotropia magnética dos granitos (Raposo & Gastal, 2008).

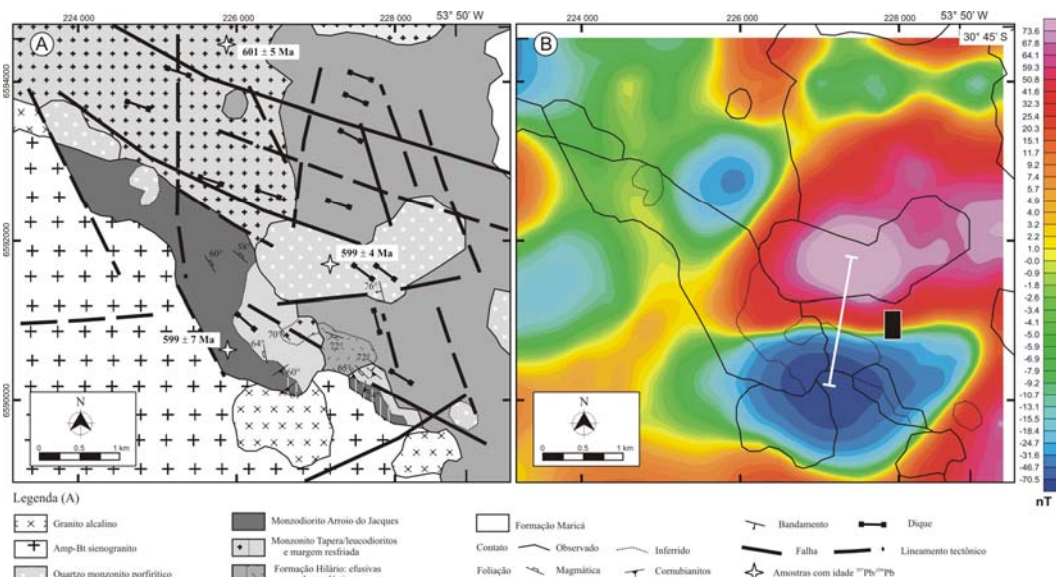


Figura 2. **A** - Mapa geológico da região do Monzodiorito Arroio do Jacques (MAJ), mostrando as idades $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ para as principais unidades. Linhas verticais brancas salientam a ocorrência de piroxênio *hornfels* em contato com o MAJ (extremo sul do corpo e ocorrência menor). Lineamentos tectônicos traçados a partir da imagem de satélite ASTER (VNIR). **B** - Mapa magnético residual da mesma região; retângulo preto, situado no gradiente da anomalia, salienta a ocorrência de sulfetos e oxidados de Fe-Cu estudada por Bentes *et al.* (1977), e barra branca realça o eixo da anomalia dipolar.

3. Geologia do Monzodiorito Arroio do Jacques

O Monzodiorito Arroio do Jacques é um corpo alongado segundo NW-SE, com 4,2 km de comprimento e 0,5 a 1,0 km de largura. A pequena ocorrência destas rochas, cerca de 500 m para sudeste, é também alongada e situada na borda do pluton principal (Fig. 2A). Nos dois locais, os afloramentos são escassos, ocorrendo como blocos e pequenos lajedos ao longo da drenagem. A norte, o contato do MAJ com o MT é tectônico, controlado pela zona de falha de direção NW-SE. O quartzo monzonito porfiritico - QMP aflora em pequenos *stocks* intrusivos no extremo norte do corpo principal. Na região do contato com um pequeno corpo de MT, a leste, ocorre grande diversidade de rochas dioríticas e monzoníticas relacionadas ao último, além de cornubianitos variados. No extremo sul e na menor ocorrência do MAJ, afloram metamorfitos de fácies piroxênio-*hornfels* cuja gênese é atribuída à sua intrusão. A foliação nestes cornubianitos, definida pela orientação de biotita ou opacos, tem mergulho para SE, divergindo daquela das demais rochas na região. O contato sul com os granitos híbridos é brusco ou tectônico, porém o MAJ é seccionado pelos

granitos alcalinos, que desenvolvem estreita margem resfriada félsica.

O MAJ inclui rochas de textura seriada fina a média, subdivididas em dois grupos: dioritos a monzodioritos com dois piroxênios, e monzodioritos com pouco ou sem ortopiroxênio. Ambos ocorrem no mesmo afloramento, embora os últimos aflorem preferencialmente no nordeste do corpo principal, ao passo que na ocorrência menor, a sudeste, só afloram os primeiros. Nos tipos mais ricos em biotita, a foliação magmática é definida pelo alinhamento de concentrações de minerais máficos (Px-Bt). A atitude desta foliação, segundo N30°-50°W/60°NE, é concordante com a foliação magnética dos granitos situados imediatamente a sul (Raposo & Gastal, 2008), reforçando o vínculo entre o posicionamento do MAJ e o do *pluton* granítico principal.

As rochas monzoníticas aflorantes a sul da zona de falha NW-SE (a leste do MAJ), embora mais diversificadas, são correlacionáveis àquelas do corpo principal do MT. Compreendem monzonitos seriados médios a grossos, circundados a oeste e sul por dioritos, monzodioritos e leucomonzonitos. Estes são texturalmente variados e estão seccionados por inúmeros diques (de espessura métrica a centimétrica) de quartzo monzonitos, e por um reticulado de veios nos locais onde o hidrotermalismo e recristalização são mais intensos. Os termos mesocráticos exibem foliação magmática definida pelo alinhamento dimensional de plagioclásio e de agregados de minerais máficos, com atitude discordante daquela do MAJ (N10-40°W/70-65°SW). Nas imediações, ocorrem rochas características de margem resfriada, com textura porfírica média e fina a afanítica, contendo grande quantidade de xenólitos (centimétricos a milimétricos), arredondados, desmembrados e parcial ou totalmente recristalizados. Nos termos mais granulares, os xenólitos são menos abundantes, mais angulosos e maiores (centimétricos a métricos). Sobrepostos a este conjunto, ocorrem cornubianitos de fácies anfibolito predominante, cuja paragênese é similar àquela dos xenólitos. Nos locais onde o contato MT-encaixante está bem exposto, todas as litologias - monzonito, margem resfriada e cornubianito - são seccionadas por vênulas quartzo-feldspáticas estreitas e irregulares, em alto ângulo com a foliação, de orientação preferencial NS a N10°W, subverticais, e com ramificações paralelas à foliação. Associação de rochas com feições similares também aflora a norte da pequena ocorrência do MAJ, onde as exposições de cornubianitos estão mais bem preservadas. Nesta região, o monzonito forma corpos tabulares cuja foliação é concordante com a dos cornubianitos (N50°-20°W/65°-50°SW). O grau de metamorfismo decresce para norte (fácies anfibolito para xistos verdes), e assim, os cornubianitos mais afastados do contato são rochas finas a muito finas, correlacionáveis à seqüência vulcanoclástica, cuja foliação é concordante com um bandamento fino e regular.

Sobreposta aos monzonitos e cornubianitos, aflora uma seqüência de tufos que se estende até a borda norte do *pluton* granítico principal. Em sua maioria, os tufos exibem textura de fluxo e incluem tipos ricos em vidro (*shards* e *fiammes*), dispostos em camadas subhorizontais no topo (próximo ao granito). As camadas basais, com baixo mergulho para NW, estão próximo ao contato com as lavas (N-NE), e incluem lúpili tufos a cristal contendo fragmentos líticos. A matriz destes tufos está parcialmente recristalizada em condições de fácies xistos verdes. A região do contato desta seqüência vulcanoclástica com as efusivas (a NE) é marcada por intensa cataclase e hidrotermalismo (propilitização, sulfetos e oxidados de Cu-Fe) segundo fraturas de direções N30-40°E e N15°W (Bentes *et al.*, 1977; Fig 2B).

O quartzo monzonito porfírico (QMP) forma corpo alongado segundo direção ENE-WSW, a norte, cujos contatos são intrusivos, com o desenvolvimento de ampla margem resfriada félsica, ou tectônicos, marcados por intensa cataclase (seqüência vulcânica). Megaxenólitos do pacote de vulcanoclásticas, não-metamorfizados e basculados segundo falha de direção NS, ocorrem na borda sul deste corpo. Nas apófises de QMP no pacote de tufos a sul, a foliação definida pelo alinhamento dimensional do plagioclásio é concordante com a das demais rochas.

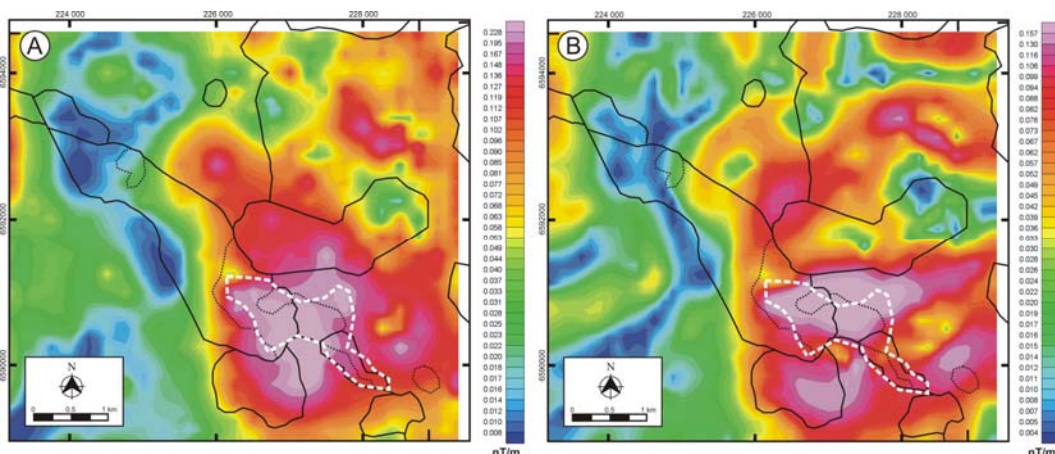


Figura 3 - Mapas magnéticos da região do MAJ, respectivamente: **A** – Amplitude do sinal analítico de ordem zero, e **B** – Gradiente horizontal total de ordem zero. Em ambos, linha tracejada branca realça a região onde os valores de suscetibilidade magnética medidos em afloramentos são superiores a $15 \cdot 10^{-3}$ SI (até $130 \cdot 10^{-3}$ SI).

4. Dados Magnéticos

Os dados aeromagnetométricos de Jackson *et al.* (1973) foram inicialmente processados para a região do CILS, como discutido em Gastal *et al.* (2006). Subtraindo um nível de base equivalente à média da malha micronivelada,

obteve-se o mapa do campo magnético residual, ao qual foram aplicadas várias técnicas de filtragem, no domínio da frequência, como gradiente horizontal total e amplitude do sinal analítico. A amplitude do sinal analítico, apesar de ser dependente das direções de magnetização e do campo magnético terrestre (Li, 2006), proporciona um melhor posicionamento dos corpos magnéticos (Nabighian, 1972), enquanto o gradiente horizontal total realça as altas frequências, eliminando os efeitos regionais de longos comprimentos de onda, derivados de fontes profundas. Desta forma, é utilizado para realçar os limites dos corpos e estruturas causadoras das anomalias. Foi também aplicada a deconvolução de Euler, que é uma técnica semiquantitativa 3D que permite avaliar a distribuição espacial e profundidade ao topo das fontes magnéticas (Thompson, 1982).

Na região do MAJ, duas anomalias magnéticas são importantes (Figs. 1B e 2B): uma bidimensional e de menor amplitude, orientada segundo direção WNW-ESE, e outra tridimensional (dipolar) com grande amplitude pico a pico ($\sim 170 \text{ nT}$) e comprimento de onda de 1,7 km. A primeira expressa a zona de falha que segmenta o complexo intrusivo em dois setores: MT a norte; *pluton* granítico principal e MAJ a sul. A julgar pelo mapa magnético residual de todo o CILS, esta zona de falha desloca as estruturas NE-SW com movimento esquerdo, a oeste. Contudo, como ressaltam Gastal *et al.* (2006), esta estrutura no domínio do CILS está bem caracterizada em profundidade e, nos níveis superficiais, ela é interrompida e deslocada pelos lineamentos de direção NS. A anomalia dipolar está posicionada próximo à interseção dessa zona de falha (WNW-ESE) com aquela de direção NE-SW, ao longo da borda leste do CILS (Fig. 1B). O seu eixo, posicionado entre as duas ocorrências do MAJ, acompanha a zona de contato entre as intrusivas (oeste) e a seqüência vulcânica (Figs. 2B e 3A). Em superfície, todas as rochas encaixantes dos granitos e do MAJ, nesta região (cornubianitos, monzonitos e tufos), exibem valores elevados de suscetibilidade magnética- k , como realçado na figura 3. Isto estaria sugerindo que o evento causador do corpo magnético é anterior ao posicionamento dos granitos e MAJ, ou relacionado ao efeito deste nas encaixantes. As rochas com alto k estão dispostas segundo estrutura de direção NW-SE que coincide com o foco da anomalia, como sugerido pelos mapas magnéticos da amplitude do sinal analítico e do gradiente horizontal total (Figs. 3A-B). As melhores soluções da deconvolução de Euler foram obtidas a partir do modelo cilindro ou *pipe*, em correspondência à anomalia dipolar, cujas profundidades ao topo das fontes magnéticas mostram uma distribuição regular (Fig. 4). O alinhamento das mesmas coincide com os principais contatos litológicos, particularmente aquele entre o MAJ e o corpo de monzonitos a leste. O foco mais profundo da anomalia estaria sob o MAJ e as profundidades decrescem para NE, definindo um plano com mergulho para sudoeste, concordante com a foliação dos monzonitos encaixantes do MAJ na região. Os limites do pacote de tufos são também realçados pela regularidade na profundidade ao topo das fontes magnéticas, e neste caso, as variações de profundidade estariam indicando uma estrutura com mergulho para SE. Apesar das incertezas estatísticas das profundidades e da profusão de soluções, os resultados obtidos pela deconvolução de Euler são coerentes com a geologia.

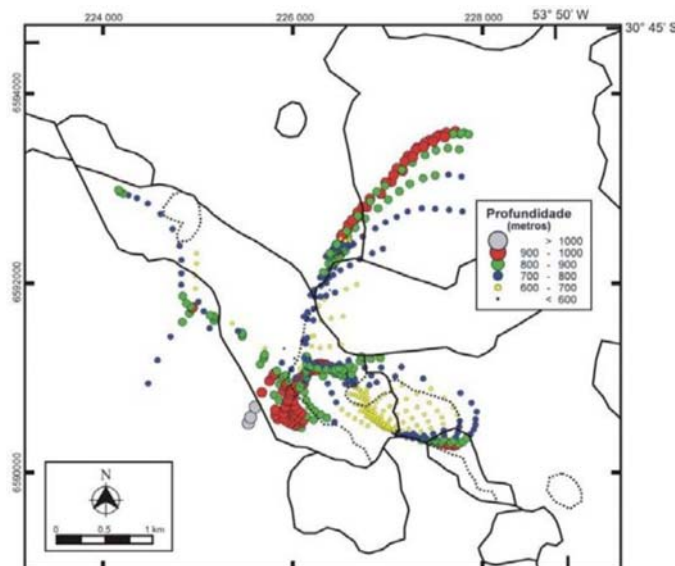


Figura 4 - Mapa de soluções de Euler (modelo *pipe*/cilindro).

5. Considerações Finais

O resultado do mapeamento geológico, complementado pelos dados aeromagnéticos, permitiu avançar no entendimento do MAJ em termos do sistema de subsidência de caldeira proposto para o complexo intrusivo. Sua formação e alojamento estariam relacionados ao período de ressurgência pós-colapso, responsável pela formação e soerguimento do *pluton* granítico no sul. A complexidade e a diversidade de suas encaixantes a leste (monzonitos-cornubianitos-tufos) podem ser atribuídas a processos concorrentes: (1) desenvolvimento da cúpula de uma intrusão monzonítica prévia em contato com encaixantes vulcanoclásticas (margem resfriada, xenólitos, hidrotermalismo emetamorfismo de contato); e (2) basculamento de blocos destas encaixantes na borda de uma caldeira construída no sul, controlado pelas estruturas rúpteis de direção NS e WNW-ESE. A concordância entre o bandamento e foliação dos

cornubianitos com a foliação dos monzonitos alojados em *sills* sugere que o magma monzonítico foi injetado ao longo dos planos de bandamento das encaixantes. O fato das vênulas quartzo-feldspáticas, resultantes do processo de compactação e segregação de líquidos residuais ao longo das margens da intrusão, estarem verticalizadas sugere que o pacote de encaixantes já estava basculado quando ocorreu a intrusão. Assim, o evento de subsidência de caldeira registrado teria sido em parte contemporâneo à formação do MT. Episódios vulcânicos subseqüentes a este evento seriam responsáveis pelos pacotes de tufos e efusivas que estão horizontalizados, explicando assim a discordância angular localizada das unidades da Formação Hilário. A entrada de magmas básico-intermediários, mesmo que relativamente anidros, na borda desta estrutura teria mantido o regime termal em alta, favorecendo o metamorfismo de contato de grau mais elevado. A formação do MAJ estaria associada a estes magmas, durante o início do processo de ressurgência, de modo que o MAJ ainda é seccionado por quartzo monzonitos, enquanto os granitos do *pluton* principal não são intrudidos pelos últimos. Uma alternativa seria de que o MAJ representa a borda da câmara magmática em profundidade (~2,5-3,0 kbar), soerguida durante a ressurgência pós-colapso, o que explicaria os contatos em parte tectônicos. De fato, os Opx dioritos contêm autólitos que podem representar cumulados da borda da câmara magmática (Gastal *et al.*, neste simpósio). A forma alongada do corpo principal do MAJ sugere que seu posicionamento foi ainda condicionado pelo movimento ao longo da zona de falha WNW-ESE, que controlou o processo de subsidência da caldeira e que deve ter sido reativada com a inversão das tensões na câmara magmática (colapso-ressurgência). A anomalia magnética dipolar parece refletir os processos ocorridos no extremo nordeste da estrutura de caldeira que envolveu basculamento das encaixantes, entrada de líquidos monzoníticos mais hidratados seguidos por magmas básico-intermediários, metamorfismo de contato e atividade hidrotermal. De qualquer modo, o conjunto de processos que traduzem a inversão das tensões na câmara magmática teria ocorrido em um curto período ($\leq 1-2$ Ma), durante o pico da atividade magmática (≈ 600 Ma).

6. Agradecimentos

Este trabalho foi financiado com recursos dos projetos PRONEX-FAPERGS (nº 04/0825-3) e FAPERGS (PROADE nº 02/0611-7). Os autores agradecem à CPRM-Serviço Geológico do Brasil pela cessão dos dados aeromagnetométricos.

7. Referências

- ANDRADE, M.S. & STRIEDER, A.J. Análise de fotolineamentos aplicada à intrusões de Lavras do Sul e Jaguari: ênfase no controle de mineralizações do prospecto de Volta Grande (RS). In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS, 6, Pirenópolis. Resumos... Sociedade Brasileira de Geologia, 1997, p. 371-372.
- BENTES, M.; DALEIRO, V.; COSTA, A.F.U. & GONÇALVES, G.N.D. Projeto geofísica terrestre na área de Lavras do Sul. Porto Alegre. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, 1977, vol. I e II.
- BITENCOURT, M.F.; SOMMER, C.A.; PHILIPP, R.P.; LISBÔA, N.A.; BORBA, A.W.; HOLZ, M. & DANI, N. 2006. Mapa Geológico de Parte da Folha Arroio América - SH-22-Y-A-IV-1 (MI 2995/1). *Pesquisas em Geociências*, v. 33(supl.1), prelo.
- DE ROS, L.F. & FERNANDES, L.A.D. Rochas charnoquíticas no Escudo Sul-riograndense. *Acta Geológica Leopoldense*, v. 5, p. 25-44, 1981.
- GASTAL, M.C.P.; TEIXEIRA, W.; LAFON, J.M. & REMUS, M.V.D. Geocronologia $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$, $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{207}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS. In: SIMPÓSIO DE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3, Cabo Frio, Resumos Expandidos... Sociedade Brasileira de geologia, 2005, p. 83-88.
- GASTAL, M.C.P.; LAFON, J.M.; FERREIRA, F.J.F.; MAGRO, F.U.S.; REMUS, M.V.D. & SOMMER, C.A. Reinterpretação do Complexo Intrusivo Lavras do Sul – RS, de acordo com os sistemas vulcano-plutônicos de subsidência. Parte I: Geologia, geofísica e geocronologia ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ e $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 36, p. 109-124, 2006.
- JACSON, V.N.; RAMOS, V.A.; TERRY, S.A. & ZUZEK, A.B. Projeto Aerogeofísico Camaquã, Estado do Rio Grande do Sul Porto Alegre, Texas Instruments: Convênio Departamento Nacional da Produção Mineral/Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais/CENEN, 208 p., 1973.
- LI, X. Understanding 3D analytic signal amplitude. *Geophysics* 71(2):L13-L16.
- NABIGHIAN, M.N. The analytical signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, v. 37, p. 507-517, 1972.
- RAPOSO, M.I.B. & GASTAL, M.C.P. Emplacement setting of the granite pluton of the Lavras do Sul intrusive complex (Rio Grande do Sul State), south Brazil: Determined by magnetic anisotropies. *Tectonophysics*, submetido, 2008.
- ROLDÃO, D.G. Análise integrada de dados estruturais e geofísicos no controle de depósitos minerais na região oeste do Escudo Sul-riograndense (RS, Brasil). Porto Alegre, 2000, 133 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.