



## Geologia e petrografia do monzodiorito Arroio do Jacques, complexo intrusivo Lavras do Sul, RS

M.M.D. Martil<sup>1</sup> & M.C. Gastal<sup>2</sup>

1 Instituto de Geociências, UFRGS, bolsista PIBIC/CNPq. Av. Bento Gonçalves, 9500. Porto Alegre, 91 501-970; marianamdmartil@yahoo.com.br

2 Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, UFRGS. C. Postal 15 022. Porto Alegre, 91 501-970; maria.gastal@ufrgs.br.

**Abstract** We present the main geological and petrographic features of the Arroio do Jacques monzodiorite, which represent the major occurrence of basic to intermediate rocks in the post-collisional Lavras do Sul intrusive complex (LSIC), southern Brazil. LSIC has ages between 606 and 583 Ma, and is coeval with trachyandesites from the Hilário Formation. It is a multicyclic body subdivided into two sectors, the Tapera monzonite in the north, and the granitic pluton in the south. The Arroio do Jacques monzodiorite (AJM) occurs between the two sectors, surrounding the north-northeast border of the latter. AJM forms a narrow body (4.2 km x ~1.0-0.5 km), which is elongated in the NW-SE direction. It includes diorites, monzodiorites and monzonites that show a longitudinal zoning, with the less evolved types in the southeastern extremity. All petrographic facies have a medium to fine-grained seriate texture and are isotropic rocks, varying from mesocratic to leucocratic. They contain three pyroxenes (augite, orthopyroxene and pigeonite), andesine/labradorite and biotite as the main mineralogical phases. Quartz, orthoclase, ilmenite and apatite are subordinate. Autholiths composed by augite, pigeonite and interstitial plagioclase occur in the more mafic diorites. Corrosion of mineral phases early in the crystallization is common in the more evolved types. Monzonites also have hornblende and show some textural features suggesting recrystallization. We conclude that AJM evolved through an open-system differentiation process from trachyandesitic magmas similar to that of the coeval volcanics.

**Keywords:** Petrography, Arroio do Jacques monzodiorite, pyroxene, Lavras do Sul intrusive complex.

O monzodiorito Arroio do Jacques é um corpo alongado e posicionado entre os dois setores do complexo intrusivo Lavras do Sul – CILS (Fig. 1), de idade neoproterozóica (606-586 Ma). Essas rochas foram descritas, inicialmente, como Charnoquito Arroio do Jacques por DeRos & Fernandes (1981). Os autores mencionaram a ocorrência de hiperstênio sienitos a diopsídio-biotita-hiperstênio quartzo sienitos, que teriam sido retrometamorfizados em fácies anfíbolito e xisto verde. Embora tenham reconhecido a textura ígnea, correlacionaram o charnoquito aos granulitos regionais de idade arqueana-paleoproterozóica. No entender de DeRos & Fernandes (1981), esse corpo representaria um segmento do embasamento soerguido durante o posicionamento dos granitóides do CILS. Soliani Jr. (1986) foi quem primeiro questionou tal interpretação. Esse autor, fundamentado em dados isotópicos Rb-Sr de duas amostras (RT), correlacionou essas rochas aos granitos de afinidade alcalina do CILS. Posteriormente, Lima (1995) e Gastal & Lafon (1998) ratificaram em parte a interpretação de Soliani Jr. (1986). Segundo os autores, esse corpo é composto por monzodiorito e ortopiroxênio diorito cujas relações de campo, petrografia e geoquímica sugerem que o mesmo seja vinculado às demais rochas do complexo intrusivo. Assim, propuseram a mudança na

denominação para monzodiorito Arroio do Jacques (MAJ). Por outro lado, os vários autores divergem quanto à filiação geoquímica dessas rochas. Lima (1995) sugeriu derivação a partir de magma basáltico moderadamente alcalino e saturado em sílica, enquanto Gastal & Lafon (1998) apontaram a afinidade shoshonítica para o MAJ. Os dados isotópicos Rb-Sr (RT) para 10 amostras do MAJ, obtidos pelos últimos autores, forneceram a idade de  $606 \pm 56$  Ma e  $I_{Sr}$  de  $0,70534 \pm 0,00031$  ( $1\sigma$ ). Apesar do erro analítico elevado, esses dados corroboraram o vínculo do MAJ com os termos precoces do CILS, relacionados aos traquiandesitos basálticos e traquiandesitos de afinidade shoshonítica (Formação Hilário).

As idades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  e  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de diversas unidades do CILS (Fig. 1), sintetizadas em Gastal *et al.* (2005), forneceram uma melhor aproximação para a formação do complexo intrusivo. O principal período de formação desse ocorreu ao redor de 601-599 Ma, com o posicionamento das principais unidades relacionadas à associação shoshonítica. Esse foi sucedido por episódios magmáticos curtos e de afinidade alcalina, com idades variáveis de ~ 598 a 586 Ma.

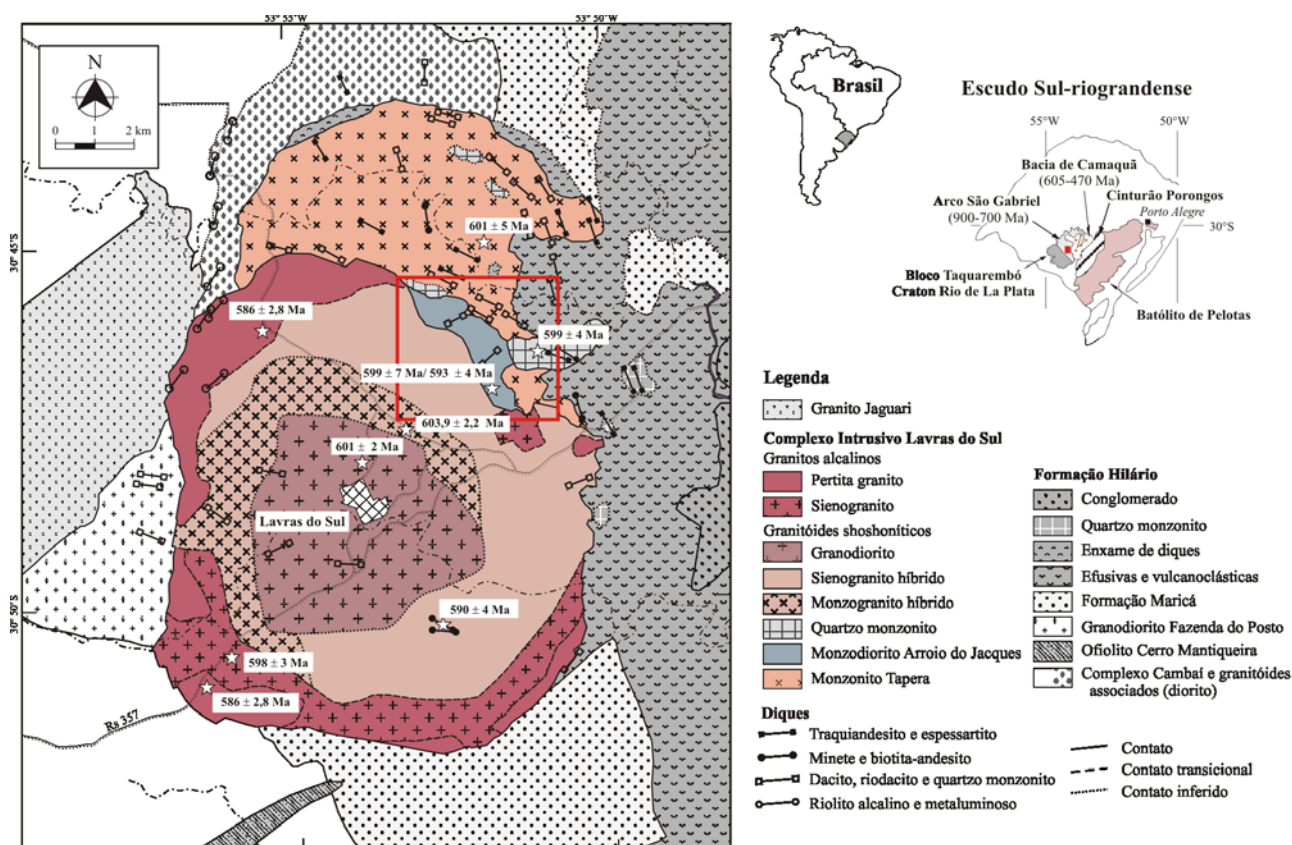


Figura 1 - Mapa geológico simplificado do complexo intrusivo Lavras do Sul, exibindo as idades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ,  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  e  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de diversas unidades, sintetizadas por Gastal *et al.* (2005). Quadrado vermelho realça a área do monzodiorito Arroio do Jacques, detalhada na figura 2

Entretanto, a formação e posicionamento do MAJ continuam a ser uma questão polêmica, uma vez que os dados isotópicos  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  para uma amostra não são conclusivos quanto à sua idade:  $599 \pm 7$  Ma (USD de 2,6) ou  $593 \pm 4$  Ma (USD de 0,9). Desse modo, duas interpretações são possíveis: (1) o MAJ foi formado durante o principal evento ígneo ( $\sim 599$  Ma), e a dispersão nos dados analíticos se deve a remobilização do sistema isotópico ocasionada pelas intrusões mais tardias do CILS; ou (2) o MAJ foi formado em evento mais jovem ( $\sim 593$  Ma) e contém zircões herdados de eventos prévios. Essa última idade para o MAJ é concordante ( $593 \pm 4$  Ma), dentro das incertezas analíticas, com a idade  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  de  $590 \pm 4$  Ma ( $2\sigma$ ) do minete (Gastal *et al.* 2005), que ocorre em dique nos granitos do CILS. Assim, esse resultado referenda a idéia de que o MAJ resultou da interação de magma traquiandesítico basáltico com o olivina minete, como é sugerido pela geoquímica muitas vezes intermediária dessas rochas (Gastal & Lafon 2006).

O MAJ representa a principal ocorrência de rochas intermediárias a básicas no CILS. Assim, o estudo detalhado do mesmo se justifica por sua importância petrológica e pela existência de questões ainda não resolvidas, relatadas acima. São discutidos, no

presente trabalho, os aspectos relevantes da geologia e petrografia do MAJ.

**ASPECTOS DA GEOLOGIA DO COMPLEXO INTRUSIVO LAVRAS DO SUL** Lavras do Sul está situada no oeste do Escudo Sul-riograndense, no domínio do arco magmático São Gabriel próximo ao limite com a borda cratônica. As unidades regionais incluem seqüências metavulcano-sedimentares e ultramáficas seccionadas por metagranitóides cálcio-alcalinos baixo- a médio-K, todos formados durante a orogênese São Gabriel (900-700 Ma). O CILS e as vulcânicas da Formação Hilário representam a principal área de exposição do evento magmático pós-colisional da orogênese Dom Feliciano, com idades ao redor de 606-583 Ma.

O CILS possui dimensões de 12 km x 17 km, e é intrusivo em ortognaisses e granitóides do Complexo Cambaí a sudoeste e norte-noroeste, no granodiorito Fazenda do Posto a oeste, e nas formações Maricá e Hilário, respectivamente a sul e leste (Fig. 1). No oeste, o CILS é seccionado pelo granito Jaguarí que é mais jovem ( $567 \pm 4$  Ma; Gastal *et al.* 2006). O complexo intrusivo é subdividido em dois setores – norte e sul. No norte está o monzonito Tapera (MT), e o setor sul consiste do pluton granítico circundado

parcialmente a norte-nordeste pelo MAJ. O MT é uma intrusão em forma de meia-lua constituída por monzonito, monzodiorito e diorito que exibem zonalidade normal. Esses são seccionados por *stocks*, diques e apófises de quartzo monzonito porfirítico. O *pluton* granítico é uma intrusão centrada com zonalidade reversa de fácies, álcali-cálcicas (granitos do núcleo) e alcalinas. Os granitos do núcleo, MT e quartzo monzonitos foram formados durante o principal período de atividade ígnea, entre 603 e 597 Ma, e os granitos alcalinos são mais jovens (598 a 586 Ma). Diques de composição variada seccionam as unidades do CILS. Incluem rochas intermediárias no setor norte, e riolito-dacito e minetes no *pluton* granítico. Os últimos ocorrem em diques estreitos (20 – 80 cm) no sienogranito híbrido. Incluem duas variedades principais, olivina minete e minete.

### MONZODIORITO ARROIO DO JACQUES

**Geologia** O MAJ é um corpo alongado segundo a direção sudeste-noroeste, com 4,2 km de extensão e largura variável entre 0,5 e 1,0 km (Fig. 2A). Ocorre em uma pequena depressão entre os dois setores do CILS (Fig. 2B), que sugere uma estrutura do tipo *graben* (DeRos & Fernandes 1981).

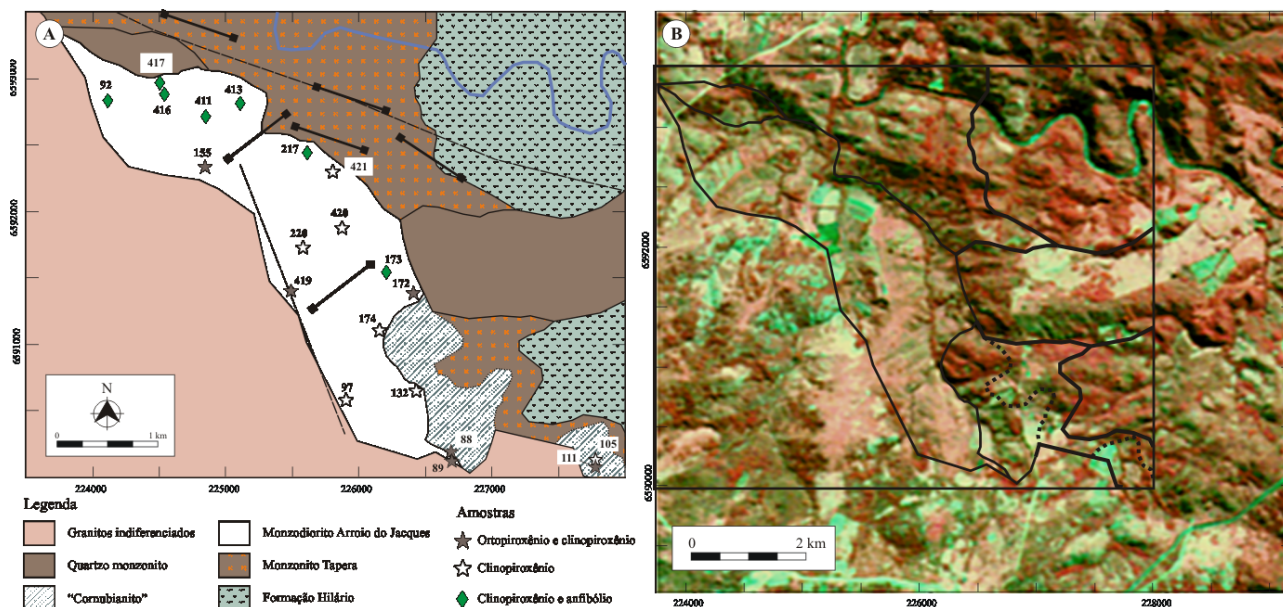
Os afloramentos são escassos, ocorrendo em blocos, matacões e pequenos lajeados ao longo da drenagem. O contato norte do MAJ é difuso com o MT, sendo caracterizado pelo intenso fraturamento e ocorrência de diques, apófises e *stocks* de quartzo monzonito. O contato sul do MAJ é brusco ou por

falha com os granitos do núcleo (sienogranito híbrido), e marcado por uma pequena margem resfriada félsica nos granitos alcalinos, que também ocorrem em apófises no MAJ.

No extremo sudeste, o MAJ é intrusivo em cornubianitos, contendo xenólitos de rochas que podem ser correlacionadas a eles. Os monzonitos exibem composição similar aos tipos dominantes e mais evoluídos do corpo principal de MT. No entanto, esses são texturalmente variados devido ao afinamento da granulação e à maior quantidade de xenólitos centimétricos de cornubianitos.

Ocorrem também tipos porfiríticos, ricos em biotita e isotrópicos, ou com incipiente foliação dada pelo alinhamento dimensional dessa. Assim, tais monzonitos são interpretados como porções da margem resfriada do MT, que estão sobrepostas por cornubianitos e restos da sequência vulcânica para leste. Entretanto, rochas correlacionadas ao MAJ estão associadas aos cornubianitos mesmo na ocorrência menor, situada no contato do MT com os granitos do CILS (Fig. 2 A).

Os cornubianitos são rochas finas a muito finas, máficas a mesocráticas ou eventualmente leucocráticas. Nesses, são frequentes arranjos granoblásticos de andesina e diopsídio, e biotita poiquiloblástica. O bandamento, granulométrico ou modal, é muito comum nos tipos mais distantes do contato com o MAJ. Nesses, a foliação paralela ao  $S_0$  é comum, e conferida pelo alinhamento dimensional de biotita e, mais raramente, plagioclásio.



**Figura 2 - A - Mapa geológico simplificado do Monzodiorito Arroio do Jacques (MAJ) exibindo a localização das amostras estudadas em detalhe, classificadas de acordo com a mineralogia máfica; B - Imagem de satélite ASTER (VNIR, composição colorida 321) da região do MAJ (Flores et al. 2006), com a sobreposição dos contatos litológicos mostrados em A**



Na ocorrência menor, a foliação nos cornubianitos e monzonitos encaixantes é subvertical e concordante, variando de 125°/58°SW a 160°/65°SW. Os níveis félsicos nos primeiros são constituídos por plagioclásio, ortoclásio, e abundante apatita. Essas feições indicam metamorfismo de fácies anfibolito a partir de protólito relacionado à sequência vulcânica. Intercalações de camadas finas (centimétricas a decimétricas) de lápili tufos a cristal e de lavas, que ocorrem como megaxenólito no quartzo monzonito situado ao norte, se encaixam como os possíveis protólitos. Os cornubianitos e o MT, nessa região, estão sobrepostos por camadas finas e horizontalizadas de tufos vítreos compostos por abundantes *shards*, *fiammes* e pumice, cristaloclastos subordinados de plagioclásio e raros litoclastos de andesito, traquito e monzonito. Esses tufos estão mais oxidados e desvitrificados, com o desenvolvimento de textura micropoiquilítica, próximo ao contato com os cornubianitos.

Os padrões texturais na imagem ASTER realçam algumas feições estruturais citadas acima (Fig. 2 B). Ao norte são marcantes os lineamentos de direção NNW–SSE, associados à zona de falha que controla o posicionamento do MAJ, e segundo a qual estão encaixados diques e apófises de quartzo-monzonito. A região de ocorrência dos cornubianitos é caracterizada por lineamentos discretos de direção NW-SE, padrão esse distinto das vulcânicas situadas a leste. O conjunto de informações disponíveis sugere que o MT é mais antigo tendo envolvido pacotes da sequência vulcânica, que foram basculados em evento prévio de subsidência de caldeira. O MAJ teria sido posicionado logo após.

Três grupos petrográficos são identificados no MAJ em função da proporção dos minerais máficos (Opx:Cpx:Hbl). Os termos mais máficos e ricos em Opx predominam junto aos cornubianitos (Fig. 1A). Isto reforça a idéia de que o MAJ representa uma intrusão máfica posterior ao MT, e responsável pelo principal evento termal formador dos cornubianitos.

**Petrografia** O MAJ é composto por rochas isotrópicas, mesocráticas a leucocráticas, de textura seriada fina a média. Inclui dioritos nos termos mais máficos, que variam para monzodioritos e monzonitos, nos termos félsicos (Fig. 3). Três piroxênios (ortopiroxênio, pigeonita e augita – Fig. 4A), andesina/labradorita e biotita são as fases minerais dominantes, ilmenita, quartzo e feldspato potássico são intersticiais e, como minerais acessórios ocorrem apatita e raro zircão. Os minerais secundários incluem actinolita, abundante nos termos mais evoluídos, e clorita, opacos e hidróxido de Fe subordinados. Nos dioritos, ocorrem autólitos com

mineralogia similar, e contatos difusos ou gradativos com a rocha. Esses consistem de concentrações de grãos médios e finos de augita e pigeonita, com plagioclásio e biotita intersticiais. Na augita, são freqüentes as feições de corrosão e de exsolução de óxidos de Fe-Ti, segundo as direções (100) e (001) (Fig. 4B). Os agregados de pigeonita exibem, por vezes, contatos poligonais. Em alguns autólitos, grãos médios de pigeonita e lamelas de flogopita estão concentrados na porção central.

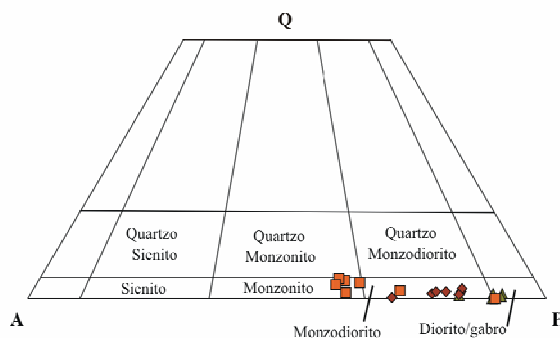
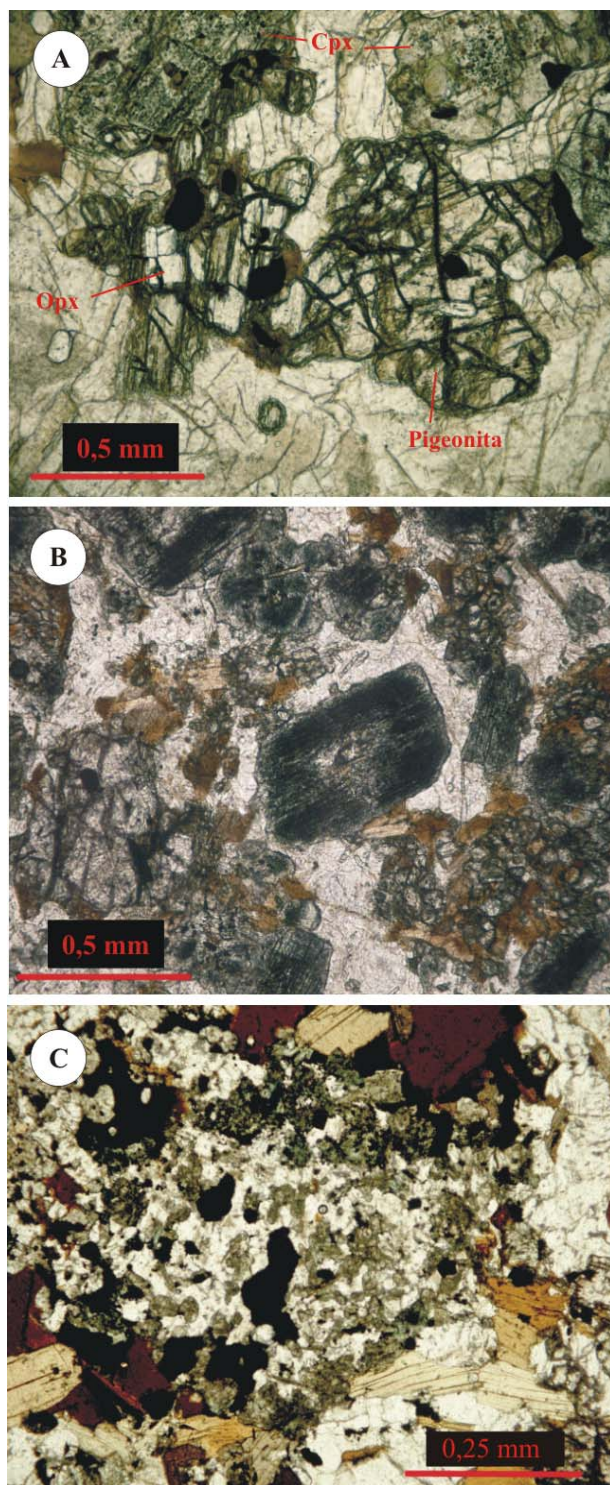


Figura 3 - Porção basal do diagrama QAP, com a subdivisão dos campos segundo Le Maitre (1997), para as amostras do MAJ localizadas na figura 2A. As análises modais se referem a contagem de 1500 pontos/lâmina. Grupos petrográficos: triângulos verde - 1, losangos marrom - 2 e quadrados laranja – 3

Nos termos mesocráticos, são característicos os agregados de grãos precoces dos três piroxênios. Dois tipos texturais de augita são reconhecidos. O tipo 1 é similar à augita dos autólitos, enquanto a do tipo 2 possui lamelas de exsolução de ortopiroxênio bem desenvolvidas segundo (100) e escassas de pigeonita segundo (001). Os grãos dessa são mais límpidos e ocorrem como sobrecrecimentos na augita tipo 1. Com a diferenciação, diminui a quantidade da primeira, e augita do tipo 2 torna-se mais abundante e de maior granulação. O Opx ocorre em grãos finos (0,5 a 1,0 mm) e subédricos e, neles, as lamelas de exsolução de augita, segundo (100), são muito finas (< 0,01 mm). Essas feições sugerem que o Opx represente pigeonita invertida, de modo que a presença dos dois piroxênios sugere resfriamento relativamente rápido para essas rochas. O plagioclásio ocorre em grãos anédricos e raramente subédricos, fraturados, e eventualmente com maclas de deformação. A zanação é normal, com núcleos corroídos, nos termos mais evoluídos. Golfos de corrosão no Pl ocorrem no contato com o Kfs, e a textura *antirapakivi* é pouco comum. O Kfs exibe pertitas em filmes finos, ou vermiculares e irregulares.



**Figura 4 - Fotomicrografias (LN) de dioritos do MAJ (grupo 1) exibindo em: A – Três piroxênios (Opx-Cpx e pigeonita), com os grãos de augita mais alterados e os de plagioclásio intersticiais intensamente fraturados (Kl 89); B – Detalhe de autólito no diorito (Kl 89), salientando a intensa exsolução na augita e os agregados compactos de grãos finos de pigeonita; e C – Xenólito no diorito (L 172), composto por plagioclásio e actinolita, de textura fina e contatos lobados, similar aos cornubianitos mais félsicos**

A biotita ocorre em lamelas médias ou grossas, de contornos intersticiais e textura poiquilítica, com inclusões de piroxênios, apatita e raro Pl. Exibe pleocroísmo intenso, com tonalidades de marrom avermelhado a quase incolor. Nos termos mais evoluídos, ocorrem lamelas de Bt saginítica, por vezes, levemente encurvadas. A biotita é comum também substituindo os piroxênios ou em coroas ao redor dos opacos.

O grupo 1 inclui predominantemente dioritos (índice de cor - M entre 34 e 47%), que são caracterizados pela maior razão Opx/Cpx. Essas rochas estão preferencialmente localizadas em regiões de contato com o corpo granítico do CILS e cornubianitos, situados para sul e leste. O grupo 2 corresponde a monzodioritos (M entre 28 e 41%), em que a augita do tipo 2 é mais expressiva. Essa ocorre em grãos médios, subédricos e isolados, com bordas corroídas e, neles, as lamelas de Opx (100) são mais desenvolvidas. A augita tipo 1 é restrita a agregados, que estão comumente envoltos por augita do tipo 2. No grupo 3, os monzonitos são dominantes (M entre 23 e 36%). Esses são caracterizados pela presença mais marcante da hornblenda e estão situados preferencialmente no noroeste do MAJ, em contato com um pequeno *stock* de quartzo monzonito. A Hbl ocorre em coronas ou substituindo parcialmente a augita do tipo 2, e raramente como grãos anédricos e intersticiais. A alteração da augita é intensa para actinolita, clorita, biotita e hidróxido de ferro. As feições de recristalização do Pl, como contatos tripliques ou lobados, são por vezes importantes.

Algumas amostras, situadas próximo ao contato com os cornubianitos e MT (L174, 172 e 132 – Fig. 2A), exibem texturas particulares, distintas das rochas dominantes no MAJ. Possuem granulação média a grossa, com evidências marcantes de recristalização e deformação em regime frágil-dúctil. Maclas de deformação, contatos lobados e serrilhados, ou localizadamente poligonais, são freqüentes nos grãos de Pl de algumas amostras. Entretanto, em outras, o Pl ocorre em grãos subédricos, com forte zonação normal e com núcleos e bordas corroídos. A biotita ocorre em lamelas grossas, ligeiramente curvas e com textura saginítica. Eventualmente forma agregados de lamelas dispostos ao redor de grãos ou agregados de augita, como se fossem folhas (*“folias”* de Vernon, 2000). A ausência de deformação da Bt, nesses agregados, sugere incipiente orientação devido ao fluxo magmático. Os piroxênios estão comumente alterados para actinolita e clorita, e mais raro, são envoltos por franjas finas de cummingtonita. Em uma das amostras (L 172), ocorre um fragmento de rocha cuja composição e textura são muito similares aos cornubianitos. Esses são compostos por grãos





anédricos e muito finos de Pl, com contatos lobados e poligonais, e actinolita intersticial (Fig. 4C). Lamelas médias de biotita, similar a da rocha, formam uma coroa ao redor do fragmento. Tais feições permitem interpretá-lo como um xenólito de rochas correlacionadas aos cornubianitos, que teria sido parcialmente assimilado pelo magma.

**CONSIDERAÇÕES FINAIS** As relações de intrusão sugerem que o MAJ foi posicionado logo após o MT, não tendo sido afetado intensamente pela zona de falha de direção NW-SE que controla o contato norte com esse. Indicam também o possível vínculo na colocação do MAJ com a formação do *pluton* granítico. As feições petrográficas são consistentes com a idéia de que o mesmo representa a diferenciação de magma traquiandesítico similar ao

que originou as lavas cronocorrelatas ao CILS. Entretanto, também registram processos de desequilíbrio significativos durante a cristalização que podem ser atribuídos à interação de magmas ou contaminação. Isto talvez seja a explicação para a natureza geoquímica particular dessas rochas. O conjunto de informações sugere que a formação do MAJ ocorreu em níveis plutônicos, relativamente rasos, representado um dos eventos de maior temperatura responsável pela geração dos cornubianitos.

**Agradecimentos.** Este trabalho foi financiado com os auxílios de pesquisa FAPERGS nº 00/2366-3 e 03/0321-3, e PRONEX/CPGQ/UFRGS (nº 662179978). Agradecemos a colaboração do colega Rafael G. Frizzo (BIC/FAPERGS 02/50586.1) durante os trabalhos de campo.

### Referências

- DE ROS L.F. & FERNANDES L.A.D. 1981. Rochas charnoquíticas no Escudo Sul-riograndense. *Acta Geol. Leop.*, **5**: 25-44.
- FLORES R.P., GASTAL M.C., ROLIM S.B.A., FERREIRA F.J.F., CARVALHO A. S.G. 2006. Diques intermediários do setor norte – complexo intrusivo Lavras do Sul, RS: Imagem ASTER e suscetibilidade magnética. In: Cong. Bras. Geol., 43, Aracaju, submetido.
- GASTAL M.C.P. & LAFON J.M. 1998. Gênese e evolução dos granitóides metaluminosos de afinidade alcalina da porção oeste do Escudo Sul-riograndense: geoquímica e isótopos de Rb-Sr e Pb-Pb. *Rev. Bras. Geoc.* **28**(1):11-28.
- GASTAL M.C.P. & LAFON J.M. 2006. Reinterpretação do Complexo Intrusivo Lavras do Sul, RS, de acordo com os sistemas vulcano-plutônicos de subsidência. Parte 2: química mineral, geoquímica e isótopos de Pb-Sr-Nd. *Rev. Bras. Geoc.*, no prelo.
- GASTAL M.C.P., TEIXEIRA W., LAFON J.M., REMUS M.V.D. 2005. 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: Simp. Vulc. e ambientes associados, 3, Cabo Frio, *Anais*, 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. 2006. 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  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ ). *Rev. Bras. Geoc.*, no prelo.
- LE MAITRE R.W. (Ed.). 1989. *A Classification of Igneous rocks and Glossary of terms: recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks*. Oxford, Blackwell Scientific Publications, 193p.
- SOLIANI Jr. E. 1986. *Os dados Geocronológicos do Escudo Sul-rio-grandense e suas Implicações de Ordem Geotectônica*. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 340p.
- VERNON R.H. 2000. Review of microstructural evidence of magmatic and solid-state flow. *Electr. Geo.* **5**:23 p.