

GEOQUÍMICA DOS GRANITOS PALEOPROTEROZÓICOS DA SUÍTE GRANÍTICA VELHO GUILHERME, PROVÍNCIA ESTANÍFERA DO SUL DO PARÁ

NILSON PINTO TEIXEIRA*, **JORGE SILVA BETTENCOURT¹**, **ROBERTO DALL'AGNOL²**, **CÂNDIDO AUGUSTO VELOSO MOURA²**, **CARLOS MARCELLO DIAS FERNANDES²** & **SABRINA CRISTINA CORDOVIL PINHO²**

Abstract *GEOCHEMISTRY OF PALEOPROTEROZOIC GRANITES OF THE VELHO GUILHERME GRANITE SUITE, TIN PROVINCE OF SOUTHERN PARÁ, BRAZIL* The granitic rocks of the Antônio Vicente, Velho Guilherme, Mocambo, Benedita e Ubim/Sul massifs of the Velho Guilherme Intrusive Suite (South Pará Tin-Province) are hololeucocratic to leucocratic, syenogranite to monzogranite with subordinate alkali-feldspar granite. Geochemical data of representative rock samples from the different massifs of the suite indicated a subalkaline nature, metaluminous to peraluminous character, as well as geochemical affinity with within-plate and A-type granites of the A₂ subgroup. Fractional crystallization was the main petrogenetic process governing the evolution of the granites of the suite. The tin mineralized members are extremely evolved, silica-rich rocks (SiO₂ >75%) which are the product of magmatic fractionation and interaction with F-enriched fluids. These fluids were responsible for Sn²⁺ extraction from primary mineral phases, specially biotite. Sn²⁺ was then incorporated into the fluids and later oxidized to Sn⁴⁺ and precipitated as cassiterite. The Th/Ta ratios of the Velho Guilherme (5.06 to 10.46) and Benedita (6.77 to 15.40) granites suggest a dominant contribution of continental upper crustal sources. For the Ubim/Sul granite magma Th/Ta ratios (3.52 to 5.33) indicated comparatively deeper crustal sources. The ultimate source material for the Mocambo granite magma (Th/Ta of 3.03 to 8.26) is more probably a mixture of lower and upper continental crust. The variable Th/Ta (5 to 100) observed in the Antônio Vicente granite is probably the result of a mixture of continental lower crustal sources with subordinate contribution of sedimentary rocks.

Keywords: geochemistry, tin-granite, A-type, Paleoproterozoic, Amazonian craton

Resumo As rochas graníticas dos maciços Antônio Vicente, Velho Guilherme, Mocambo, Benedita e Ubim/Sul, da Suíte Intrusiva Velho Guilherme (Província Estanífera do Sul do Pará) são hololeucocráticas a leucocráticas, sieno a monzograníticas, com tipos alcali-feldspato graníticos subordinados. Dados geoquímicos de rocha total dos diferentes maciços da suíte revelaram a sua natureza subalcalina, caráter metaluminoso a peraluminoso, bem como afinidade tectonomagmática intraplaca e características geoquímicas de granitos tipo-A, do subgrupo A₂. A cristalização fracionada foi o principal processo petrogenético que governou a evolução dos granitos da suíte. Os diferenciados mais evoluídos e hospedeiros de mineralizações de Sn mostram um grau extremo de diferenciação (SiO₂ >75%) e são produto de fracionamento magmático e da interação com fluidos aquosos pós-magmáticos ricos em voláteis (F). Esses fluidos foram responsáveis pela extração de Sn²⁺, a partir das fases minerais primárias, especialmente, da biotita, incorporando-o às soluções residuais onde foi oxidado, passando para a forma Sn⁴⁺ e precipitando como cassiterita. As razões Th/Ta dos granitos dos maciços Velho Guilherme (5,06 a 10,46) e Benedita (6,77 a 15,40) apontam para uma fonte predominantemente de crosta continental superior. Em relação aos granitos do maciço Ubim/Sul, a sua razão Th/Ta (3,52 a 5,33) sugere uma fonte magmática localizada em um segmento crustal um pouco mais profundo. Já os protólitos dos granitos do maciço Mocambo (razão Th/Ta de 3,03 a 8,26) resultaram mais provavelmente de uma mistura de material de crosta profunda e crosta continental superior. A ampla variação das razões Th/Ta observada nos granitos do maciço Antônio Vicente (5 a 100) sugere uma mistura de componentes de crosta continental superior com uma possível contribuição de natureza sedimentar.

Palavras-chave: geoquímica, granitos estaníferos, Tipo-A, Paleoproterozóico, Cráton Amazônico

INTRODUÇÃO Rochas graníticas paleoproterozóicas do Cráton Amazônico têm sido objeto de diversas investigações (Dall'Agno *et al.* 1986, Bettencourt & Dall'Agno 1987, Dall'Agno *et al.* 1993, Magalhães *et al.* 1994, Dall'Agno *et al.* 1999a, Bettencourt *et al.* 1999, Costi *et al.* 2000, Teixeira *et al.* 2002a). Dentre elas, ocorre um grande número de corpos com características subalcalinas e alcalinas, semelhantes a granitos do tipo "A" (Loiselle & Wones 1979, Collins *et al.* 1982), os quais são portadores de mineralizações de estanho e outros metais raros (Bettencourt & Dall'Agno 1987, Dall'Agno *et al.* 1993, Costi 2001, Teixeira *et al.* 2002a).

Na Província Mineral de Carajás, sul-sudeste do Estado do

Pará, ocorrem diversos maciços graníticos com greisens associados, alguns portadores de mineralizações de estanho. Tais maciços estão reunidos sob a designação de Suíte Intrusiva Velho Guilherme (CPRM/DNPM 1997, Teixeira *et al.* 2002a), cujos corpos graníticos fazem parte da Província Estanífera do Sul do Pará (Abreu & Ramos 1974). Nas duas últimas décadas esses granitos foram tema de inúmeras investigações, com diferentes enfoques (Teixeira & Dall'Agno 1991, Teixeira & Andrade 1992, Dall'Agno *et al.* 1993b, Magalhães *et al.* 1994, Lafon *et al.* 1995, Teixeira *et al.* 2002a). Entretanto, estudos voltados para a caracterização geoquímica das rochas da suíte, bem como investigações que

* - In memoriam

1 - Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Caixa Postal 11348, CEP 05422-970, São Paulo, São Paulo, Brasil. FAX: 55-11-818-4207 jsbetten@usp.br.

2 - Centro de Geociências da Universidade Federal do Pará, Caixa Postal 1611. CEP 66075-900. Belém, Pará, Brasil. FAX : 55-91- 211-1609. E-mails: robdal@ufpa.br, c_moura@ufpa.br, cmdf@ufpa.br, sabrinapinho@bol.com.br

visam discutir o potencial metalogenético das mesmas são escassos e/ou pouco aprofundados.

Objetivando preencher essas lacunas, foram realizadas análises químicas em rocha total para elementos maiores, traço e ETR em rochas dos maciços Antônio Vicente, Velho Guilherme, Mocambo, Benedita e Ubim/Sul, para caracterizá-los geoquimicamente e discutir seu potencial metalogenético e os processos formadores das mineralizações de cassiterita associadas.

CONTEXTO REGIONAL Os principais depósitos da Província Estanífera do Sul do Pará se associam com as rochas graníticas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, situada no contexto do Cráton Amazônico (Almeida *et al.* 1981), no domínio geocronológico da Província Amazônia Central (> 2.3 Ga, Tassinari & Macambira 1999).

A área de ocorrência dos maciços da Suíte Intrusiva Velho Guilherme foi palco de diversos eventos termo-tectônicos do Arqueano e do Proterozóico, testemunhados por transformações mineralógicas e elementos estruturais impressos em unidades litostratigráficas arqueanas do Terreno Granito-Greenstone do Sul do Pará e do Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (Araújo *et al.* 1988). Nesta área ocorrem, ainda, o Granito Parauari e vulcânicas intermediárias (Formação Sobreiro) e félsicas (Formação Iri) paleoproterozóicas (CPRM/DNPM 1997).

Os corpos graníticos são intrusivos em seqüências metavulcanossedimentares do Grupo Tucumã (Araújo *et al.* 1988), no Granodiorito Rio Maria (Medeiros *et al.* 1987), ambos pertencentes ao Terreno Granito-Greenstone do Sul do Pará (Araújo *et al.* 1988), e no Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (Araújo *et al.*

1988), todos arqueanos, e no Granito Parauari (Lafon *et al.* 1991) e rochas vulcânicas do Grupo Uatumã, do Paleoproterozóico (Fig. 1).

ASPECTOS GEOLÓGICOS DOS MACIÇOS ESTUDADOS

Os granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme são mineralizados em estanho, sendo os depósitos explotados de natureza aluvionar. As fácies graníticas afetadas por alteração hidrotermal pós-magmática e os greisens hospedam pequenas concentrações primárias de cassiterita (Teixeira & Bettencourt 2000).

O caráter francamente discordante dos corpos em relação às encaixantes, a presença de rochas vulcânicas não metamorfisadas e de seqüências supracrustais entre as mesmas, o desenvolvimento de auréolas de contato de baixa pressão (Dall'Agnol 1980) e a freqüência de intercrescimentos granofíricos em algumas fácies dos maciços, bem como a ocorrência de granitos pórfiros, sugerem que a colocação destes foi rasa, por vezes subvulcânica (Teixeira & Dall'Agnol 1991, Teixeira 1999). Nestas condições, a relação cristais-líquido não deveria ser elevada quando da colocação dos mesmos (Pitcher 1979). Tais aspectos ocorrem em outros granitos anorogênicos ou pós-tectônicos da Amazônia (Dall'Agnol 1980, Gastal 1987, Gonzalez *et al.* 1988, Daoud 1988, Dall'Agnol *et al.* 1994, 1999a; Lamarão *et al.* 2002).

Estudos petrográficos mostram que os granitos dos diferentes maciços são hololeucocráticos a leucocráticos, sieno a monzograníticos, subordinadamente álcali-feldspato graníticos (Fig. 2).

O maciço Antônio Vicente foi estudado mais detalhadamente por Dall'Agnol (1980), Teixeira & Dall'Agnol (1991), Dall'Agnol *et al.*

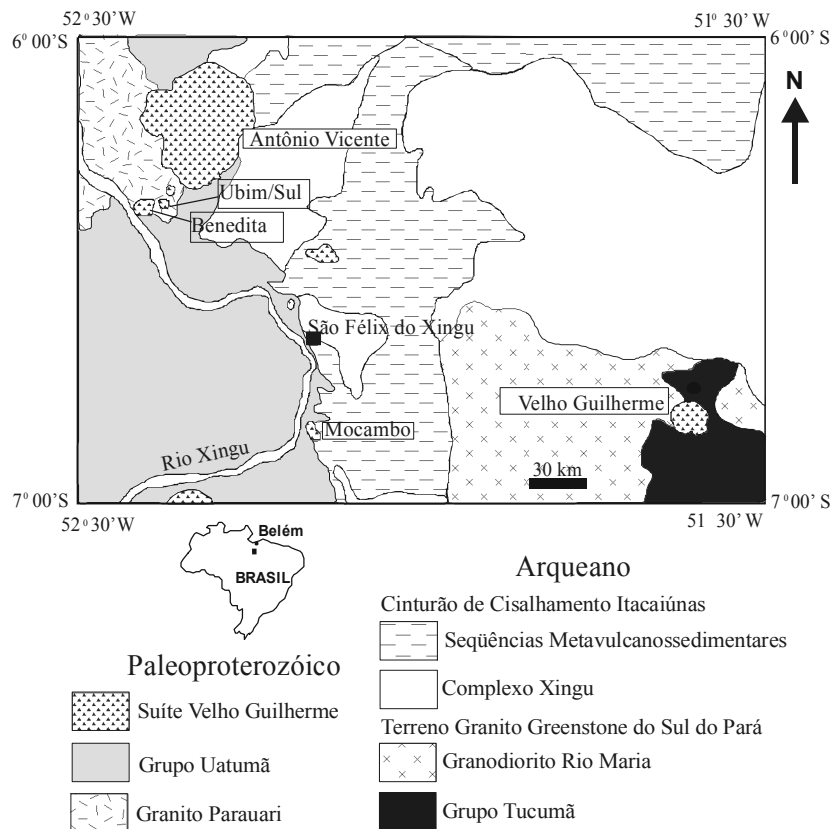


Figura 1 – Mapa geológico simplificado da Folha SB-22-Y-B (Folha São Félix do Xingu), mostrando a distribuição dos maciços graníticos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme estudados (CPRM/DNPM 1997, modificado).

al. (1993b), Magalhães et al. (1994), Teixeira et al. (2002a,b). Datações $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircão por evaporação de Pb indicaram uma idade de 1867 ± 4 Ma para o maciço (Teixeira et al. 2002a). Teixeira & Dall' Agnol (1991) distinguiram no interior do maciço quatro domínios petrográficos principais (Fig. 2): 1-biotita-anfibólio-sienogranito com biotita-anfibólio-monzogranito subordinado, pouco afetados por alterações pós-magmáticas; 2-anfibólio-biotita-sienogranito, biotita-anfibólio-sienogranito a álcali-feldspato-granito, biotita-sienogranito com clorita e álcali-feldspato-granito; 3-biotita-sienogranito com biotita-monzogranito subordinado. A última variedade está afetada, em diferentes graus, por alterações pós-magmáticas, por vezes muito intensas; 4-biotita-monzogranito, sem alterações importantes, com biotita-sienogranito subordinado. Localmente, foram caracterizados micromonzogranito e sienogranito a monzogranito granofírico.

Associados ao biotita-sienogranito (3), ocorrem zonas e corpos de greisens e veios de fluorita de espessura milimétrica e centimétrica. Dentre os greisens foram distinguidos: a) muscovita-quartzo-greisen; b) clorita-quartzo-greisen; c) clorita-siderofilita-muscovita-quartzo-greisen.

Apesar das variações composicionais, os granitos guardam entre si muitas semelhanças texturais. A maioria têm textura hipidiomórfica equigranular grossa ou média, por vezes porfírica, e, com mais frequência, textura seriada grossa a média ou média a fina. São geralmente acinzentados, localmente rosados. Tons avermelhados e acinzentados ocorrem em corpos mais intensamente afetados por alterações pós-magmáticas.

Quartzo, álcali-feldspato peritítico e plagioclásio sódico (albita-oligoclásio) são os minerais essenciais. As bandas sódicas das pertitas, originadas por processos de exsolução (em cordões ou filmes) e de espessamento (em bandas, veios e manchas), por vezes, associadas com substituição (conforme Smith & Brown 1988), são abundantes. Intercrescimentos granofíricos estão comumente presentes.

A siderofilita é o máfico principal das fácies mais evoluídas desprovidas de anfibólio (Teixeira et al. 2002a). Anfibólio com composição de alumínio-hastingsita a alumínio-ferro-edenita, as-

sociado com biotita comparativamente mais magnésiana, ocorre nos granitos relativamente menos evoluídos (biotita-anfibólio-sieno a monzogranito). Os acessórios incluem zircão, ilmenita, magnetita, titanita e apatita. Os minerais de alteração pós-magmática são sericita, fengita (Fernandes 2003), clorita, fluorita, epidoto, topázio, microclina, albita, allanita e minerais de argila. Cassiterita, calcopirita, estanita, fluocerita-(Ce), esfalerita, itrocerita, monazita e xenotímio estão associados aos granitos mais alterados e aos mica-quartzo-greisens.

O maciço Velho Guilherme foi investigado por Dall' Agnol (1980) e, em maior detalhe, por Teixeira (1999). Datações radiométricas Pb-Pb em rocha total revelaram uma idade de 1874 ± 30 Ma (Lafon et al. 1995). Neste maciço, Teixeira (1999) caracterizou três variedades principais: a) biotita-sienogranito equigranular médio; b) sienogranito heterogranular; c) microssienogranito (Fig. 2). Evidências de campo indicam que o biotita sienogranito equigranular é seccionado pelo sienogranito heterogranular e que esse último é cortado pelo microssienogranito e veios hidrotermais com epidoto e quartzo. Os tipos graníticos estão afetados, em diferentes intensidades, por alterações pós-magmáticas. São sienograníticos subsolvus, hololeucocráticos e se originaram a partir de líquidos muito diferenciados e evoluídos, extremamente silicosos. Guardam muita semelhança com a fácies biotita-sienogranito do maciço Antônio Vicente.

Quartzo, plagioclásio (An_{12-6}) e feldspato potássico (microclina peritítica) são fases essenciais, sendo a biotita, de composição anítica aluminosa, o principal constituinte máfico. Zircão, ilmenita e magnetita são fases acessórias primárias, enquanto sericita, muscovita, clorita, fluorita, topázio, microclina, albita, esfalerita, allanita, epidoto, carbonato, fluocerita, cério-pirocloro, fergusonita e minerais argilosos são de alteração pós-magmática.

O maciço Mocambo é uma cúpula intensamente afetada por alterações pós-magmáticas. Os granitos expostos resultam da interação do granito original com fluidos residuais ricos em voláteis (F). Datações geocronológicas por evaporação de Pb em zircão, indicaram uma idade de 1862 ± 32 Ma para o maciço Mocambo (Teixeira et al. 2002a). Estudos petrográficos (Teixeira 1999) revelaram três fácies: 1) sienogranito a monzogranito porfírico; 2) sienogranito com muscovita; 3) álcali-feldspato-granito aplítico (Fig. 2). Ocorre, ainda, um corpo de siderofilita-clorita-muscovita-quartzo-greisen, interpretado como produto de alterações pós-magmáticas mais intensas sobre o sienogranito com muscovita. As relações de contato entre as diversas fácies não foram observadas diretamente durante os trabalhos de campo.

Apesar de marcantes diferenças texturais, os granitos consistem de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, acompanhados por mica com composição de annita aluminosa a siderofilita, presente nas variedades sienogranito a monzogranito porfírico e sienogranito com muscovita (Teixeira 1999). Como minerais acessórios ocorrem zircão, ilmenita e magnetita.

Sericita-muscovita, clorita, fluorita, epidoto, topázio, carbonato e microclina resultaram da substituição parcial do plagioclásio ou da desestabilização da biotita e albita e minerais de argila à alteração do feldspato potássico. A cristalização da cassiterita foi tardia e ocorreu durante a oxidação das micas primárias (Teixeira 1999). Ocorrem ainda allanita, monazita, fluocerita, esfalerita, pseudo-ixiolita/ferro-columbita, volframo-ixiolita, itrofluorita e itrocerita.

O siderofilita-clorita-muscovita-quartzo-greisen foi observado em apenas um afloramento, na zona de contato da fácies sienogranito com muscovita e suas encaixantes. Apresenta as-

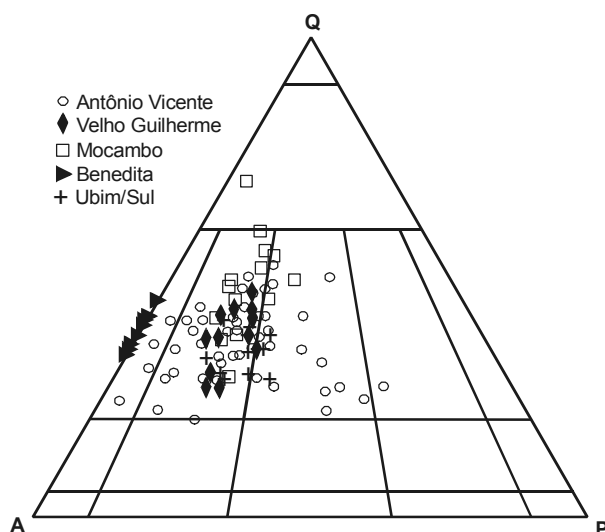


Figura 2 – Diagrama Q-A-P mostrando a distribuição composicional modal dos granitos estudados (Teixeira 1999, modificado). Campos conforme Streckeisen (1976).

pecto maciço, textura hipidiomórfica, heterogranular, granulação fina a média e coloração cinza escura a negra. Consiste essencialmente de quartzo, muscovita, clorita e siderofilita. Como fases minerais residuais primárias ocorrem zircão, hematita e magnetita, sendo fases tardias, subordinadas, albita, fluorita e cassiterita.

O maciço *Benedita* (Teixeira & Andrade 1992) é intrusivo no Granito Parauari e em rochas vulcânicas félsicas da Formação Iriri do Grupo Uatumã (Fig. 1). É formado por um (biotita)-álcali-feldspato-granito hololeucocrático (Fig. 2) hipersolvus (Tuttle & Bowen 1958), avermelhado a rosa esbranquiçado e textura hipidiomórfica, heterogranular, fina a média. Textura granofírica ocorre localmente. Os minerais essenciais compreendem quartzo e feldspato potássico, e os acessórios são biotita, zircão e minerais opacos. Minerais de alteração pós-magmática são pouco expressivos e representados por sericita, muscovita, albita, fluorita, clorita, pirita, óxido de Fe e W e minerais de argila.

O maciço *Ubim/Sul* é intrusivo no Granito Parauari e faz contato com rochas vulcânicas félsicas da Formação Iriri do Grupo Uatumã. Mostra caráter hololeucocrático e ocupa os campos do sienogranito e monzogranito (Fig. 2). Teixeira & Andrade (1992) caracterizam duas fácies no maciço: (1) biotita-sienogranito com clorita e (2) biotita-monzogranito. Ambas variedades têm textura hipidiomórfica, heterogranular, granulação média a grossa e coloração rosa a rosa-esbranquiçada. Consistem essencialmente de quartzo, feldspato potássico e plagioclásio, sendo varietal a biotita. As fases minerais acessórias primárias são zircão e minerais opacos (de composição não determinada), enquanto aquelas tardias, associadas às alterações pós-magmáticas, são sericita-muscovita, microclina, albita, esfalerita, minerais opacos, quartzo, minerais de argila, topázio, monazita e cassiterita \pm clorita \pm fluorita.

GEOQUÍMICA As análises químicas de elementos maiores, menores e traços, exceto FeO, Li e ETR (apenas para o maciço Antônio Vicente), dos granitos estudados foram realizadas no ACTLABS (Activation Laboratories Ltd, Canadá), com abertura por fusão. As análises dos elementos maiores foram realizadas por ICP-ES (*Inductively Coupled Plasma-Emission Spectrometry*), e dos elementos traços (exceto F e Cl) por ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometry*). O F foi analisado pelo método SIE (*Selective Ion Electrode*) e o Cl pelo método INAA (*Instrumental Neutron Activation Analysis*). As análises de FeO, Li e ETR de amostras do maciço Antônio Vicente foram realizadas no Service D'Analyses des Roches e Minéraux du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG - Nancy-França). Os dois primeiros por via úmida e os ETR por ICP-MS.

As composições químicas médias de 47 amostras de granitos dos maciços estudados, bem como algumas razões específicas entre óxidos maiores, elementos traço e terras raras são mostradas na Tabela 1.

Os dados litogeoquímicos mostraram que as rochas graníticas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme possuem natureza subalcalina (Fig. 3), caráter metaluminoso a peraluminoso (Fig. 4), afinidade geoquímica com granitos intra-placa (Fig. 5) e uma grande semelhança com granitos tipo-A, do subgrupo A₂, exceto em relação ao maciço *Benedita*, que incide no campo dos granitos do subgrupo A₁ (Fig. 6). Exibem conteúdos sempre baixos de TiO₂, Al₂O₃, CaO, MgO e P₂O₅, inferiores àqueles da média dos granitos reportada por Le Maître (1976). Possuem conteúdos aproximadamente iguais de Na₂O e K₂O e o total de álcalis (Na₂O+K₂O) varia de 7,12 a 8,91 (% em peso), refletindo o caráter subalcalino dos granitos estudados. As razões K₂O/Na₂O são sempre superiores a 1 (Tabela 1) e se

situam entre 1,01 (fácies álcali-feldspato-granito do maciço *Benedita*) e 3,14 (fácies aplito do maciço *Mocambo*).

Possuem, em geral, conteúdos baixos de Sr, Ba e Cl, moderados de Hf, U e Zr, e sistematicamente altos de Rb, Y, F, Li, Th, Nb, Ta e Ga, exceto nos granitos do maciço Antônio Vicente onde os teores de Ga são invariavelmente mais baixos (Tabela 1), relativamente aos conteúdos dos granitos dos demais maciços. Como consequência, as razões Rb/Sr, Rb/Ba, e F/Cl são, via de regra, altas, especialmente nas variedades portadoras de mineralizações de Sn. As razões K/Rb são muito baixas, se comparadas com aquelas dos granitos considerados não especializados (Shaw 1968). No diagrama Rb-Ba-Sr (Fig. 7), nota-se que as composições das diferentes fácies graníticas incidem, com raras exceções, no campo dos granitos extremamente diferenciados.

Elementos Terras Raras (ETR) das rochas graníticas do maciço Antônio Vicente exibem teores médios mais elevados, especialmente nas fácies pouco afetadas por processos hidrotermais pós-magmáticos, cujos conteúdos situam-se entre 872,93 e 420,72 ppm (Tabela 1). As mais baixas concentrações médias desses elementos encontram-se nos granitos dos maciços Velho Guilherme e *Benedita* e variam entre 186,56 ppm e 155,03 ppm. Os granitos dos maciços *Mocambo* e *Ubim/Sul* possuem valores médios oscilando entre 241,75 e 354,69 ppm (Tabela 1), os quais são equivalentes àqueles encontrados nas fácies mais intensamente afetadas por alterações hidrotermais pós-magmáticas do maciço Antônio Vicente (Tabela 1). Todos os granitos dos maciços estudados mostram um padrão de distribuição dos ETR do tipo gaivota e possuem uma forte anomalia negativa de Eu (Eu/Eu* = 0,33 a 0,006), embora nos maciços Velho Guilherme, *Mocambo*, *Benedita* e *Ubim/Sul* esta seja mais acentuada (Eu/Eu* = 0,032 a 0,006), relativamente ao maciço Antônio Vicente (Eu/Eu* = 0,33 a 0,06; Fig. 8). A razão (La/Lu)_N é mais elevada nos granitos do maciço Antônio Vicente, especialmente nas fácies pouco afetadas por alterações hidrotermais pós-magmáticas, onde a mesma alcança valores entre 25,96 e 9,96 (Tabela 1), indicando um fracionamento moderado dos ETRP em relação aos ETRL. Nos granitos dos demais maciços, os baixos valores desta razão (2,85 a 0,99) evidenciam um fracionamento fraco e/ou ausente dos ETRP em comparação aos ETRL. Isso indica a tendência ao decréscimo gradual dos ETRL para as fácies mais evoluídas e ricas em sílica, paralelamente ao aumento relativo dos conteúdos de ETRP, resultando nos padrões em gaivota típicos dessas rochas. Entre os ETRL, nota-se um fracionamento interno moderado, expresso pelas razões (La/Sm)_N, cujos valores variam de 6,19 a 1,67, nos granitos do maciço Antônio Vicente, e de 4,75 a 1,20 nos granitos dos demais maciços. Foge a essa característica a fácies micro-sienogranito do maciço Velho Guilherme com valor médio da razão (La/Sm)_N de 0,4. Em relação ao fracionamento interno dos ETRP, observam-se valores sistematicamente baixos da razão (Gd/Lu)_N, que varia entre 0,90 e 0,38 na ampla maioria dos granitos, o que indica um enriquecimento dos elementos terras raras mais pesados e se reflete em padrões subhorizontalizados. Esse efeito é geralmente explicado pela influência do flúor, que favorece a concentração de ETRP nos líquidos tardios (Collins *et al.* 1982, Whalen *et al.* 1987, Dall'Agnol *et al.* 1993, Teixeira 1999). As fácies pouco afetadas por alterações hidrotermais pós-magmáticas do maciço Antônio Vicente, cujos valores são superiores a 1 (Tabela 1), constituem uma exceção.

DISCUSSÕES A cristalização fracionada foi o principal processo petrogenético que governou a evolução dos granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme (Teixeira & Bettencourt 2000), formada

predominantemente por granitos evoluídos que mostram um grau extremo de diferenciação ($SiO_2 > 75\%$) e são hospedeiros de mineralizações de Sn. Tais granitos são produto de fracionamento magmático e da interação com fluidos hidrotermais aquosos pós-

magmáticos, conforme evidenciado por sua distribuição nos diagramas Sn vs TiO_2 e Sn vs Rb/Sr (Fig. 9). Esses fluidos ricos em voláteis (F) foram responsáveis pela extração de Sn^{2+} , a partir das fases minerais primárias, especialmente, da biotita, incorporando-

Tabela 1 – Composições químicas e razões médias de rochas graníticas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme. Óxido em % em peso e elementos traço e terras raras em ppm.

Máfiços	Antônio Vicente						Velho Guilherme			Mocambo			Benedita		Ubim/Sul	
	BASMG	BSGCl	BMG	BSG	BSGA	BSGIA	BSGEm	SGH	MSG	SMGP	SGMv	AP	AFG	BAFG	BSGCl	BMG
Nº de amostras	3	2	3	5	4	6	4	5	1	2	1	3	3	3	4	2
SiO ₂	68,38	72,90	75,41	76,34	77,12	75,06	75,90	76,42	77,41	75,91	75,95	76,76	77,77	77,52	75,92	76,21
TiO ₂	0,78	0,31	0,18	0,14	0,09	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,06	0,04	0,043	0,04	0,04	0,04
Al ₂ O ₃	14,02	13,57	12,30	12,27	12,36	12,84	12,40	12,37	12,61	12,94	12,62	12,64	11,55	12,13	12,30	12,35
Fe ₂ O ₃	1,99	1,55	1,52	0,34	0,35	0,26	1,54+	1,14+	0,48+	2,40+	3,05+	1,02+	1,37+	1,58+	2,19+	1,78+
FeO	2,80	1,48	1,29	1,36	1,09	0,90	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt
MnO	0,06	0,04	0,01	0,03	0,02	0,02	0,015	< 0,012	nd	0,06	0,09	0,02	< 0,013	< 0,01	0,03	0,04
MgO	0,81	0,17	0,18	0,12	0,05	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,01	0,02	0,02	< 0,01	0,02	0,06
CaO	1,67	0,48	0,48	0,73	0,77	1,02	0,49	1,01	0,53	0,57	0,58	0,43	0,13	0,27	0,50	0,74
Na ₂ O	3,93	2,01	3,34	3,28	3,50	3,27	3,60	3,78	3,25	3,25	2,59	2,03	3,99	4,15	2,84	2,48
K ₂ O	4,12	6,11	5,13	4,74	4,76	4,72	4,63	4,27	5,66	4,03	4,53	6,38	4,01	4,22	4,74	4,73
P ₂ O ₅	0,24	0,05	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	< 0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	< 0,01	< 0,013	0,015	0,07
P.F.	0,88	1,20	0,69	0,81	0,68	0,84	0,70	0,50	0,52	0,85	1,14	0,89	0,48	0,48	0,93	1,16
Total	99,68	99,83	100,59	100,19	100,81	99,62	99,32	99,12	100,57	100,08	100,63	100,24	99,36	100,39	99,52	99,66
Rb	248	362	296	306	443	539	511	433	365	835	786	871	351	489	662	698
Ba	1170	917	447	245	129	29	16	175	264	310	28	32	45	7	25	37
Sr	148	62	42	34	25	11	9	70	49	21	18	19	15	11	13	60
Zr	327	351	201	167	132	118	130	121	161	118	164	152	354	269	119	67
Nb	17	13	21	25	42	51	38	41	52	126	76	120	62	75	79	71
Y	112	144	25	57	83	148	107	122	237	151	170	79	68	89	121	177
Sc	10	7	4	3	2	2	nd	nd	nd	2	2	1	nd	nd	2	3
Be	3	2	4	5	5	10	4	6	5	2	3	2	3	3	5	8
Zn	56	65	28	24	23	25	27	22	87	105	126	247	45	49	35	50
Ga	6	11	6	3	9	18	30	29	28	32	37	32	26	31	27	28
Mo	3,86	2,84	2,30	2,83	1,18	3,07	3,82	1,49	1,0	3,16	8,14	2,91	8,17	1,23	7,47	22,70
Li	12,67	13,50	29,67	36,00	32,75	36,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Sn	6,7	4,00	5,83	2,6	7,1	303,5	3,50	9,92	2,2	19,90	63,05	10,5	3,00	5,43	53,45	11,50
F	897	745	1063	2580	3675	6567	2500	2680	1594	14500	7550	3400	903	1933	3288	4799
Cl	692	178	446	361	101	52	955	795	nd	360	nd	nd	710	454	385	nd
W	51,67	33,00	65,57	134,92	55,03	50,18	78,20	60,47	715	182,56	81,83	88,92	45,00	68,36	141,44	324,00
Cs	1,07	0,96	1,45	1,55	2,27	0,11	7,34	5,73	3,6	8,10	6,75	4,04	0,85	2,04	1,93	2,20
Ta	1,65	1,98	2,13	7,63	6,22	9,51	5,98	5,30	8,90	16,29	10,68	18,385	6,54	7,51	13,82	12,25
Hf	7,32	9,81	5,98	78,60	60,25	44,33	8,54	8,38	12	6,77	10,48	12,28	12,62	15,19	6,94	7,05
Th	36,33	43,00	83,00	32,62	36,33	38,82	48,01	45,57	45,1	51,60	74,40	58,75	64,75	69,57	54,68	61,40
U	14,00	12,00	17,61	0,46	nd	nd	13,14	11,20	20,1	18,15	17,35	20,11	16,96	19,39	25,32	43,60
La	135,33	272,50	128,37	100,74	64,25	32,58	18,49	18,42	6,14	58,43	67,72	60,86	22,64	28,24	42,60	47,70
Ce	208,23	288,00	230,37	188,44	130,85	82,97	46,18	47,35	21	122,07	136,09	107,19	57,51	65,99	86,48	114,00
Pr	11,07	36,10	12,61	18,95	10,73	11,05	4,87	5,29	3,42	11,85	7,49	10,00	5,54	6,64	7,57	12,54
Nd	87,13	152,70	70,73	55,58	42,18	31,92	25,39	28,45	21,8	53,85	51,07	39,67	26,39	31,42	33,50	57,50
Sm	18,50	28,25	12,80	10,88	10,58	12,03	7,98	9,49	9,34	13,56	11,79	7,90	7,07	8,43	8,51	14,95
Eu	1,47	2,90	0,73	0,62	0,4	0,23	0,07	0,09	0,05	0,14	0,09	0,06	0,02	0,02	0,07	0,11
Gd	15,90	25,60	9,60	8,50	9,53	12,28	9,58	11,44	12,3	14,00	12,89	6,80	7,39	8,84	9,37	13,10
Tb	1,08	3,86	0,91	1,61	1,79	3,05	1,95	2,33	3,49	2,85	2,62	1,36	1,40	1,72	1,95	3,53
Dy	16,50	22,45	8,23	8,82	12,08	19,40	14,25	16,78	25,3	20,67	20,06	10,79	9,88	12,29	14,86	23,80
Ho	1,40	4,93	1,02	2,21	2,78	5,14	3,13	3,64	6,33	4,51	4,53	2,48	2,07	2,60	3,34	5,29
Er	10,00	20,00	4,63	5,64	8,23	13,53	10,51	12,04	20,5	15,68	15,89	9,71	6,70	8,53	12,14	17,55
Tm	0,59	2,09	0,43	1,11	1,45	2,68	1,63	1,84	3,02	2,63	2,62	1,78	1,01	1,32	2,11	3,03
Yb	11,07	12,00	4,97	6,74	10,28	16,67	11,51	12,77	19,5	19,66	19,00	14,22	6,87	9,16	16,23	23,00
Lu	1,40	1,55	0,63	0,88	1,30	2,05	1,78	1,91	2,84	3,01	2,83	2,20	1,02	1,36	2,62	3,54
FeO/(FeO+MgO)	0,68	0,90	0,89	0,91	0,95	0,98	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt	ndt
Rb/Sr	1,67	5,83	7,00	8,90	17,87	47,52	60,09	6,16	7,45	39,77	43,64	45,82	23,41	45,80	49,93	11,67
Zr/Rb	1,31	0,97	0,71	0,54	0,29	0,22	0,25	0,28	0,44	0,14	0,21	0,17	1,01	0,55	0,18	0,10
Rb/Ba	0,21	0,39	0,66	1,24	3,43	18,68	31,43	2,47	1,38	2,69	28,56	27,21	7,86	73,27	26,46	18,85
K/Rb	137	140	143	128	89	72	75	81	128	40	47	60	94	71	57	56
Th/U	2,59	3,58	4,71	70,91	nd	nd	3,65	4,07	2,26	2,84	4,288	2,92	3,82	3,59	2,16	1,41
Th/Ta	22,02	21,72	38,97	4,28	5,84	4,08	8,03	8,60	5,07	3,17	6,97	3,20	9,90	9,26	3,96	5,01
Na ₂ O+K ₂ O	8,05	8,12	8,47	8,02	8,26	7,99	8,23	8,05	8,91	7,28	7,12	8,41	8,00	8,37	7,58	7,21
K ₂ O/Na ₂ O	1,05	3,04	1,54	1,45	1,36	1,44	1,29	1,13	1,74	1,24	1,98	3,14	1,01	1,02	1,67	1,91
CaO/Na ₂ O+K ₂ O	0,21	0,06	0,06	0,09	0,09	0,13	0,06	0,09	0,06	0,08	0,08	0,05	0,02	0,03	0,07	0,10
F/Cl	1	4	2	7	36	125	2	3	nd	40	nd	nd	1	4	8	479900
Eu/Eu*	0,26	0,33	0,20	0,19	0,12	0,06	0,025	0,027	0,014	0,032	0,022	0,025	0,010	0,006	0,023	0,024
(La/Lu) _N	9,96	18,12	21,00	25,96	5,09	1,64	1,07	0,99	0,22	2,00	2,47	2,85	2,29	2,11	1,68	1,39
(La/Sm) _N	4,51	5,95	6,19	5,71	3,75	1,67	1,43	1,20	0,41	2,26	3,54	4,75	1,98	2,03	3,09	1,97
(Gd/Lu) _N	1,39	2,02	1,87	1,19	0,90	0,74	0,66	0,73	0,52	0,57	0,56	0,38	0,89	0,79	0,44	0,45
Σ ETRL	460,26	777,55	454,88	374,59	258,59	170,55	102,91	109,00	61,70	259,76	274,16	225,62	119,15	140,72	178,66	246,69
Σ ETRP	57,94	92,48	30,42	45,51	47,45	69,80	54,35	62,75	93,28	65,01	80,44	49,34	36,34	45,82	63,02	92,84
Σ ETR	519,67	872,93	486,03	420,72	306,44	245,58	157,33	171,84	155,03	324,91	354,69	275,07	155,51	186,56	241,77	339,64

BASMG=biotita-anfibólio-sieno a monzogranito, BSGCl=biotita-sienogranito com clorita, BMG=biotita-monzogranito, BSG=biotita-sienogranito,

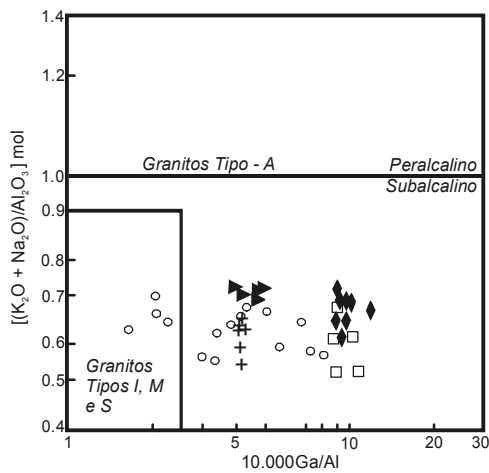


Figura 3 – Diagrama 10.000 Ga/Al vs. $[(K_2O+Na_2O)/Al_2O_3]$ Mol (Whalen et al. 1987) mostrando a distribuição composicional dos granitos da Suíte Velho Guilherme. Símbolos como Fig. 2.

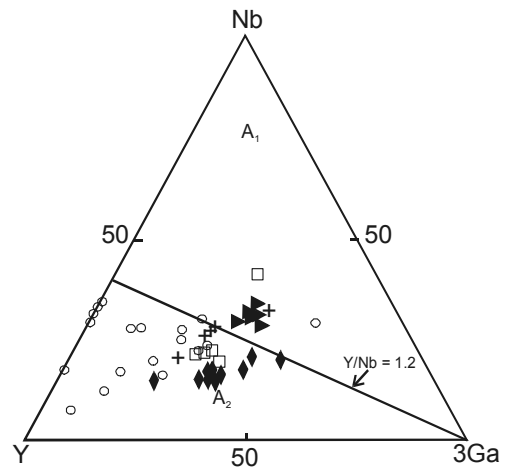


Figura 6 – Diagrama Nb - Y - 3Ga (Eby 1992), mostrando a distribuição composicional dos granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme.

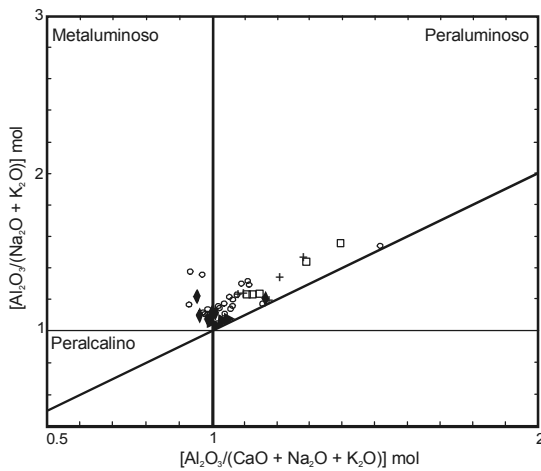


Figura 4 – Diagrama A/CNK vs. A/NK (Shand 1922, Maniar & Piccoli 1989), mostrando o caráter metaluminoso a peraluminoso dos granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme.

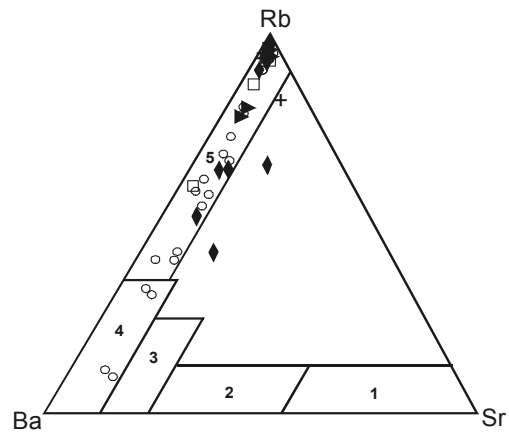


Figura 7 – Diagrama Rb - Ba - Sr (El-Bouseily & El-Sokkary 1975), mostrando a distribuição composicional dos granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme. Os campos correspondem a (1) diorito, (2) granodiorito e quartzo-diorito, (3) granitos anômalos, (4) granitos normais e (5) granitos extremamente diferenciados.

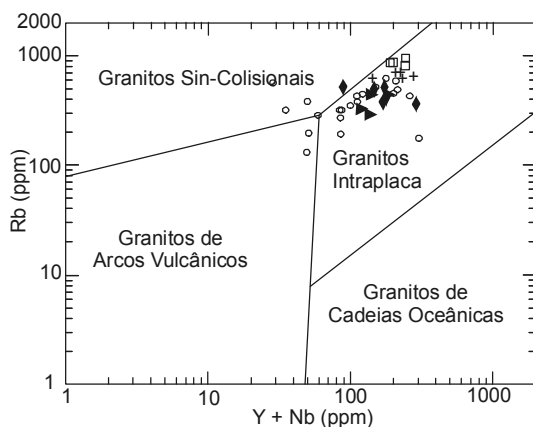


Figura 5 – Diagrama Rb - (Y+Nb) (Pearce et al. 1984), mostrando a distribuição dos granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme.

o às soluções residuais onde foi oxidado, passando para a forma de Sn^{4+} e precipitando como cassiterita (Teixeira & Bettencourt 2000). As fácies biotita-anfibólio-sieno a monzogranito e biotita-sienogranito com clorita do maciço Antônio Vicente possuem teores de sílica abaixo da média geral da suíte (Tabela 1).

As elevadas concentrações de elementos litófilos de grande raio iônico, tais como Rb, K e ETRL e elementos de alto potencial iônico (Zr, Nb, e Y), observadas nos granitos estudados, indicam que pelo menos parte das rochas fonte dos mesmos era francamente crustal.

As razões Th/Ta (Fig. 10) dos granitos dos maciços Velho Guilherme (5,06 a 10,46) e Benedita (6,77 a 15,40) sinalizam para uma fonte predominantemente de crosta continental superior. A razão Th/Ta (3,52 a 5,33) dos granitos do maciço Ubim/Sul, sugere uma fonte magmática localizada em um segmento crustal um pouco mais profundo. Já os protólitos dos granitos do maciço Mocambo (Th/Ta de 3,03 a 8,26) correspondem possivelmente a uma mistura

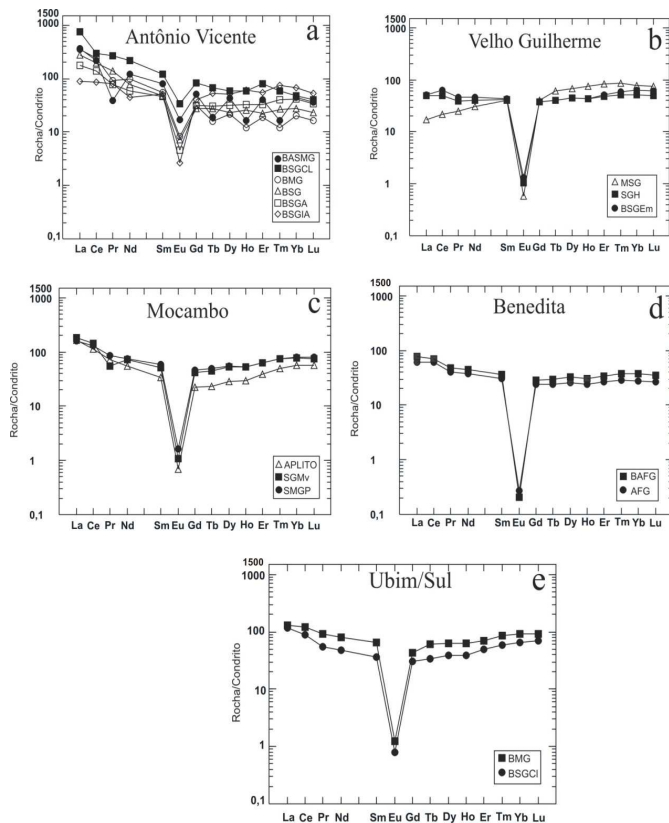


Figura 8 – Padrão de distribuição dos elementos terras raras dos granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme. Normalizado com base em condrito (Sun 1982). Legenda: vide Tabela 1.

de materiais de crosta continental profunda e superior. O amplo espalhamento composicional observado na maioria das amostras do maciço Antônio Vicente (5,0 a 100) sugere uma mistura de material da crosta continental superior com uma possível contribuição de natureza sedimentar. Quatro amostras fogem do padrão assinalado, fornecendo razões mais baixas. Uma hipótese para explicar os altos valores das razões Th/Ta encontrados em granitos do maciço Antônio Vicente seria a de que os mesmos fossem decorrentes dos processos hidrotermais pós-magmáticos que afetaram o maciço em diferentes graus. Entretanto, esta hipótese é enfraquecida, quando se observa que os granitos de outros maciços, especialmente do maciço Mocambo, também afetados por tais processos e em intensidades semelhantes, não mostram razões tão elevadas. Além disso, Th e Ta são elementos pouco móveis e deveriam ser menos afetados pelos processos hidrotermais.

As evidências geoquímicas de origem crustal para os granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme aqui apresentadas, são reforçadas pelos dados isotópicos de Nd que revelam valores de ϵ_{Nd} fortemente negativos (-7,9 a -12,1) e idades T_{DM} arqueanas (3,0 a 3,2 Ga) para as rochas dessa suíte, interpretados como indicativos de derivação de seus magmas a partir de fontes crustais arqueanas (Teixeira et al. 2002a). Um modelo análogo foi proposto para as demais suítes anorogênicas da Província Mineral de Carajás (Dall'Agnol et al. 1999b, Rämö et al. 2002, Dall'Agnol et al. 2005)

Embora os granitos da suíte sejam diferenciados extremamente silicosos e foram afetados por processos capazes de gerar concentrações econômicas de estanho e elementos associados (depósitos dos maciços Antônio Vicente e Mocambo, por exemplo)

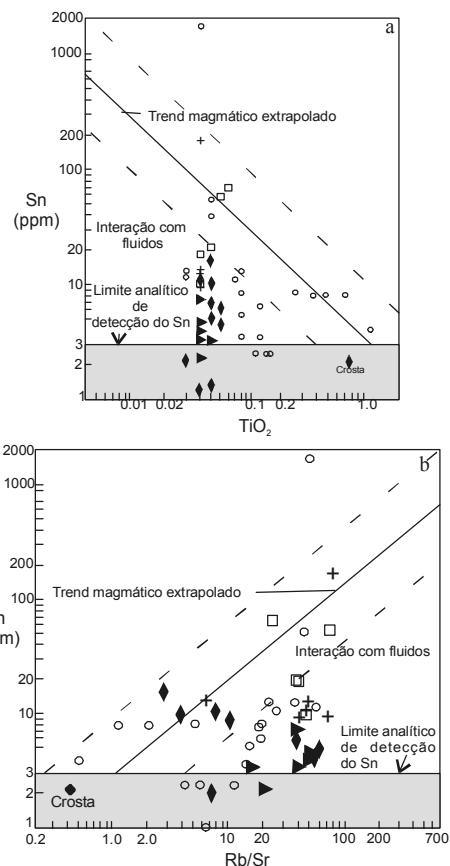


Figura 9 - Diagramas Sn vs. TiO_2 (a) e Sn vs. Rb/Sr (b) (Lehmann & Mahawat 1989) mostrando a distribuição dos granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme. O campo da composição crustal média conforme Taylor & McLennan (1985).

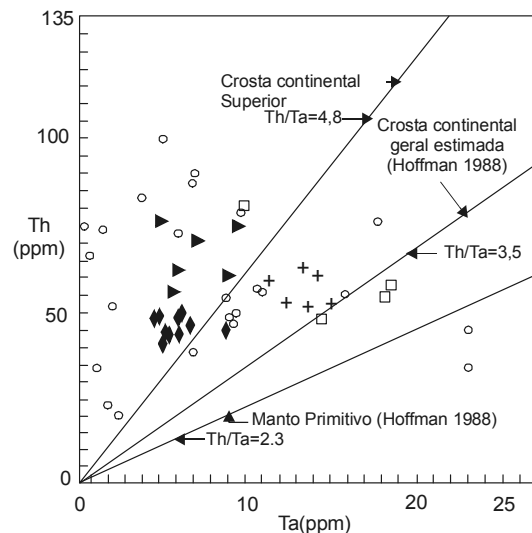


Figura 10 – Diagrama Th vs. Ta mostrando a distribuição dos granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme. Razões Th/Ta para o manto primitivo e crosta continental geral estimadas com base em Hoffman (1988) e para a crosta continental superior com base em Taylor & McLennan (1985).

constata-se que o estoque de estanho disponível ou a carga fluidal atuante no estágio pós-magmático, ou ambos, não propiciaram a formação de depósitos de classe mundial na província.

A possibilidade de existência de um estoque limitado de estanho é coerente com a hipótese assumida de derivação dos magmas graníticos a partir de uma crosta arqueana (Teixeira *et al.* 2002a, Dall'Agnol *et al.* 2005), de modo geral empobrecida em U, Th, Rb, ETRP, W, Sn, F, Be e Mo, e apresentando baixas razões K/Rb. A maior ou menor contribuição de crosta superior ou inferior como fonte dos magmas poderia explicar as variações geoquímicas observadas nos diferentes maciços. Por outro lado, os leucogranitos ricos em sílica dominantes nos vários corpos são extremamente diferenciados, indicando que os processos de diferenciação magmática foram muito atuantes. Estes mesmos leucogranitos mostram, em sua maioria, assinatura geoquímica indicando especialização para estanho, conforme se observa no diagrama Sr vs. Rb/Sr (Fig. 11). Os líquidos evoluíram de modo geral em condições redutoras (Magalhães *et al.* 1994, Dall'Agnol *et al.* 2005) e as transformações pós-magmáticas foram geralmente intensas. Portanto, embora tenham existido as condições necessárias para a formação de depósitos expressivos de estanho, isto não se verificou na província, que apresenta depósitos modestos se comparados com as províncias de Rondônia (Bettencourt *et al.* 1995, 1999) e Pitinga (Horbe *et al.* 1991, Costi *et al.* 2000). A explicação parcial para isto reside muito provavelmente na existência de estoques mais reduzidos de estanho nas rochas fontes dos magmas graníticos, o que teria impossibilitado a formação de grandes concentrações deste metal. Além disso, é possível que o volume de fluidos atuantes durante as alterações hidrotermais pós-magmáticas não tenha sido suficiente para proporcionar a formação de depósitos importantes, exceto localmente.

O conjunto de dados apresentados, somados às informações sobre isótopos de Nd disponíveis na literatura, sugere que os granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme evoluíram a partir da fusão de diferentes segmentos crustais arqueanos, os quais não eram excepcionalmente ricos em estanho, embora tenham sido capazes de concentrar elementos produtores de calor (U, Th, Rb e K; cf. Dall'Agnol *et al.* 1993). A mistura em diferentes proporções de fonte de crosta inferior, relativamente empobrecida em Sn, elementos litófilos e elementos produtores de calor, com fonte de crosta continental superior, relativamente enriquecida nestes elementos, foi provavelmente o fator que determinou o grau de especialização e a capacidade de concentração de estanho dos granitos da suíte.

Outro aspecto a considerar é a importância da concentração metálica multi-cíclica, processo esse dependente de orogenias superpostas ou de magmatismo anorogênico, como condição necessária para a geração de depósitos de estanho. Os granitos dos maciços paleoproterozóicos do Cráton Amazônico, especialmente aqueles ocorrentes na área de abrangência da Província Amazônia Central (Tassinari & Macambira 1999), são em geral estéreis (Suíte Jamon, Dall'Agnol *et al.* 2005), fracamente (Suíte Serra dos Carajás, Dall'Agnol *et al.* 2005) ou moderadamente (Suíte Velho Guilherme, Teixeira 1999) mineralizados para estanho. São exceção a isso, os granitos mineralizados da região de Pitinga (Amazonas), que hospedam importantes mineralizações de estanho e de outros metais associados (Horbe *et al.* 1991, Costi *et al.* 2000, Borges 2002). Por outro lado, os granitos jovens de Rondônia (Caritianas, Santa Bárbara, Polangueta, etc) são fortemente mineralizados em metais raros (Bettencourt *et al.* 1997).

A maior frequência de concentrações anômalas de metais nos

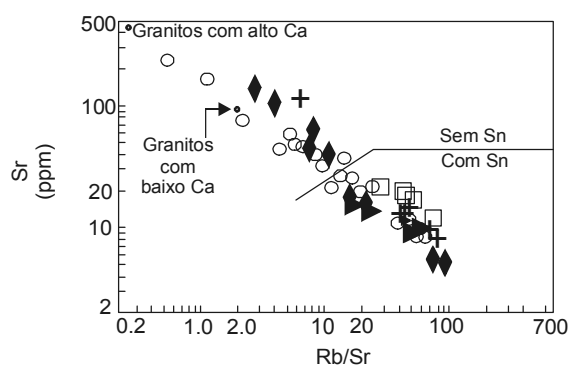


Figura 11 – Diagrama Sr vs. Rb/Sr (Lehmann & Mahawat 1989) mostrando a distribuição composicional dos granitos da Suíte Intrusiva Velho Guilherme. Os círculos menores indicam as composições médias dos granitos com alto cálcio e baixo cálcio (conforme Turekian & Wedepohl 1961).

granitos jovens de Rondônia, quando comparados aos granitos paleoproterozóicos da Província Estanífera do Sul do Pará, ocorrentes na região de São Félix do Xingu, deve-se, pelo menos em parte, à ocorrência de processos de retrabalhamento crustal superimpostos acompanhados de sucessivos eventos magmáticos na Província Estanífera de Rondônia, os quais propiciaram excepcional enriquecimento em estanho e metais associados naquele segmento crustal do cráton.

A ausência de atividades orogênicas superpostas e de eventos magmáticos mais jovens do que 1,8 Ga na porção leste-nordeste do Cráton Amazônico foi, talvez, o fator determinante para a ausência de depósitos de classe mundial relacionados a granitos nesta porção do cráton. Presume-se, portanto, que a crosta arqueana mais antiga era, por natureza, relativamente empobrecida em estanho e, apesar da atuação de processos de fracionamento magmático, aliados à intensa interação fluidos/rochas, não foi possível a formação de grandes depósitos na região.

CONCLUSÕES Os dados litogeoquímicos mostraram que as rochas graníticas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme possuem natureza subalcalina, caráter metaluminoso a peraluminoso, e afinidade geoquímica com granitos intraplaca e com os granitos tipo-A, do subgrupo A₂.

A cristalização fracionada foi o principal processo petrogenético que governou a evolução dos granitos da suíte. Os granitos mais evoluídos (SiO₂ > 75%), hospedeiros de mineralizações de Sn, são produtos de fracionamento magmático e da interação com fluidos aquosos pós-magmáticos ricos em voláteis (F). Tais fluidos foram responsáveis pela extração de Sn²⁺, a partir das fases minerais primárias, especialmente, da biotita, incorporando-o às soluções residuais onde foi oxidado, passando para a forma de Sn⁴⁺ e precipitando como cassiterita.

Os altos teores de elementos litófilos de grande raio iônico, tais como Rb, K e ETRL, e elementos de alto potencial iônico (Zr, Nb e Y), observados nos granitos da suíte, somados aos dados isotópicos de Nd disponíveis na literatura, indicam que as rochas fonte dos seus magmas eram francamente crustais.

As razões Th/Ta sinalizam para uma fonte predominantemente de crosta continental superior para os granitos dos maciços Velho Guilherme e Benedita, uma fonte magmática crustal um pouco mais profunda para os granitos do maciço Ubim/Sul, uma mistura de

materiais de crosta profunda e superior para os protólitos dos granitos do maciço Mocambo e uma mistura de material da crosta continental superior com possível contribuição sedimentar para os granitos do maciço Antônio Vicente.

Embora os granitos da suíte sejam extremamente diferenciados e foram afetados por processos capazes de gerar concentrações econômicas de estanho, o estoque de estanho ou a carga fluidal atuante no estágio pós-magmático ou ambos não propiciaram a formação de depósitos de classe mundial na província que apresenta depósitos modestos se comparados com as províncias de Rondônia e Pitinga. Isso se deve provavelmente à existência de estoques mais reduzidos de estanho nas rochas fontes arqueanas dos magmas graníticos e, talvez, a um volume não muito elevado de fluidos, o que teria impossibilitado a formação de grandes concentrações deste metal. A mistura em diferentes proporções de fonte de crosta inferior, relativamente empobrecida em Sn, elementos litófilos e elementos produtores de calor, com fonte de crosta continental superior, relativamente enriquecida nestes elementos, foi provavelmente o fator que determinou o grau de especialização e a capacidade de concentração de estanho dos granitos da suíte.

Agradecimentos À FAPESP, Fundação de Apoio a Pesquisa do Estado de São Paulo, pelo apoio financeiro para a realização das análises (Projeto 96/3942-0); ao CNPq pelo apoio financeiro (Processos RD 550739/01-7 e 476075/03-3); R. Dall'Agnol agradece ao Serviço de Análises e à direção do Centre des Recherches Pétrographiques et Géochimiques (CRPG, Vandoeuvre – Lès – Nancy, França) por parte das análises químicas; à Mineração Taboca e aos geólogos Carlos Augusto Sena Sá, Tadeu Veiga, Germano José Reabe, Hilton Coelho e Evandro Cintra e aos técnicos Quegenaldo e Seabra pela hospedagem e apoio durante grande parte dos trabalhos de campo no maciço Antônio Vicente; à CPRM e aos geólogos Edésio José Buenano Macambira e Xafi da Silva Jorge João, pelo apoio nos trabalhos de campo e informações sobre a geologia da Folha SB-22-Y-B (Folha São Felix do Xingu); à Mineração São Francisco de Assis (Projeto Mocambo), nas pessoas do administrador Adalberto Maia e do técnico Manuel Correa, pelo apoio durante trabalhos de campo no maciço Mocambo. Este trabalho é uma contribuição aos projetos IGCP-510 (UGS-UNESCO) e PRONEX (103-98/MCT/CNPq-Proc. 66.2103/98-0).

Referências

- Abreu F.A.M. & Ramos C.R. 1974. Estanho do Sul do Pará. In: SBG Congr. Bras. Geol., 28, Porto Alegre, *Anais*, 5:11-23.
- Almeida F.F.M., Hasui Y., Brito Neves B.B. de, Fuck R.A. 1981. Brazilian Structural Provinces: an introduction. *Earth Sci. Rev.*, 17:1-29.
- Araújo O.J.B., Maia R.G.N., Jorge João X.S., Costa J.B.S. 1988. A megaestruturação da Serra dos Carajás. In: SBG Congr. Latinoamer. Geol., 7, Belém, *Anais*, 1:324-338.
- Bettencourt J.S., Dall'Agnol R. 1987. The Rondonian tin-bearing anorogenic granites and associated mineralization. In: Intern. Symp. Granites and Assoc. Mineraliz., Salvador, *Excursion Guides*, pp.49-87.
- Bettencourt J.S., Tosdal R.M., Leite Jr. W.B., Payolla B.L. 1995. Overview of the rapakivi granites of the Rondônia Tin Province (RTP). In: J.S. Bettencourt & R. Dall'Agnol (Eds.). 1995. *Excursion Guide: The rapakivi granites of the Rondônia Tin Province and associated mineralization*. IGCP PROJECT 315. Belém, Pará, Brasil. 48p.
- Bettencourt J.S., Leite W.B., Payolla B.L., Scandolara J.E., Muzzolon R., Vian J.A.J. 1997. The rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, northern Brazil. In: Intern. Symp. Granites and Associated Mineralizations, Salvador, *Excursion Guide*, pp.3-31.
- Bettencourt J.S., Tosdal R.M., Leite Jr. W.B., Payolla B.L. 1999. Mesoproterozoic rapakivi granites of the Rondônia Tin Province, southwestern border of the Amazonian craton, Brazil — I. Reconnaissance U-Pb geochronology and regional implications. *Prec. Res.*, 95:41-67.
- Borges R.M.K. 2002. *Greisens e epissienitos potássicos associados ao Granito Água Boa, Pitinga (AM): um estudo dos processos hidrotermais geradores de mineralizações estaníferas*. C. de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Tese de Doutorado, 383p.
- Collins W.J., Beams S.D., White A.J., Chapell B.W. 1982. Nature and origin of A-type Granites with particular reference to Southeastern Australia. *Contr. Mineral. Petrol.*, 80:189-200.
- Costi H.T., Dall'Agnol R., Moura C.A.V. 2000. Geology and Pb-Pb Geochronology of Paleoproterozoic Volcanic and Granitic Rocks of Pitinga Province, Amazonian Craton, Northern Brazil. *Intern. Geol. Review*, 42: 832-849.
- CPRM/DNPM. 1997. Programa levantamentos geológicos básicos do Brasil. São Felix do Xingu. Folha SB-22-Y-B. Estado do Pará. Brasília. 344p.
- Dall'Agnol R. 1980. *Etudes sur des granites du type "Rondonian" en Amazonie Orientale et leurs transformations tardi-magmatiques*. Laboratoire de Geologie, Université, Paul Sabatier, Toulouse, These Troisieme Cycle, 348p..
- Dall'Agnol R., Vieira E.A.P., Sá C.A.S., Medeiros H., Gastal M.C.P., Teixeira N.P. 1986. Estado atual do conhecimento sobre as rochas granitóides da porção sul da Amazônia Oriental. *Rev. Bras. Geoc.*, 16:11-23.
- Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Magalhães M.S. 1993. Diagnostic features of the Tin-specialized anorogenic granites of the Eastern Amazonian Region. *Anais Acad. Bras. Ciências*, 65 (Supl 1):33-50.
- Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Magalhães M.S. 1994. The anorogenic leucogranites of the eastern Amazonian region: an example of tin-mineralized granites of the rapakivi series. In: Anortosites, Rapakivi Granites and Related Rocks, International Geological Correlation Programme, Joint meeting IGCP Nos 290 and 315, *Program and Abstracts*. McGill University, Montreal, p.2.
- Dall'Agnol R., Costi H.T., Leite A.A. da, Magalhães M.S. de, Teixeira N.P. 1999a. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Prec. Res.*, 95:9-39.
- Dall'Agnol R., Rämö O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B. 1999b. Petrology of the anorogenic, oxidised Jamon and Musa granites, Amazonian craton: implications for genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos* 46:431-462.
- Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Rämö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Bettencourt J.S. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, Rapakivi, A-Type Granites of the Carajás Mining Province. *Lithos*, 80:101-129.
- Daoud W.K. 1988. *Granitos estaníferos de Pitinga, Amazonas: contexto geológico e depósitos minerais associados*. Dep. Geociências, UnB,

- Brasília, Dissertação de Mestrado, 194p.
- Eby G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: petrogeneses and tectonic implications. *Geology*, **20**:641-644.
- El-Bouseily A.M. & El-Sokkary A.A. 1975. The relation between Rb, Ba and Sr in granitic rocks. *Chem. Geol.*, **16**:207-219.
- Fernandes C.M.D. 2003. *Química Mineral da Mica Branca de Rochas Graníticas e Greisens da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará*. C. Geociências, Universidade Federal do Pará, Trabalho de Conclusão de Curso, Belém, 33p.
- Gastal M.C.P. 1987. *Maçço Granítico Musa: Mapeamento, Petrologia e Petroquímica, Rio Maria, SE do Pará*. C. Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Tese de Mestrado, 327p.
- Gonçalves M.G.B., Vieira E.A.T., Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Angelim E.P.V., Senta N.D. 1988. Geologia do Maçço Anorogênico Cigano. Vale do Rio Parauapebas-PA. In: SBG, Congr. Bras. Geol., 35, Belém, *Anais*, **3**:1132-1146.
- Hofmann A.W. 1988. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. *Earth Plan. Sci. Lett.*, **90**:297-314.
- Horbe M.A., Horbe A.C., Costi H.T., Teixeira J.T. 1991. Geochemical characteristics of cryolite-tin-bearing granites from Pitinga Mine, northwestern Brazil - a review. *J. Geoch. Expl.*, **40**:227-249.
- Lafon J.M., Pereira E.D., Macambira E.M.B., Vale A.G., Barradas J.A.S. 1991. Geocronologia Rb-Sr da região de São Felix do Xingu. Resultados preliminares. In: SBG, Symp. Geol. Amaz., 3, Belém, *Anais*, **1**:21-35.
- Lafon J.M., Rodrigues E., Macambira E.M.B., Pereira E.D. 1995. Magmatisme anorogénique du Protérozoïque Inférieur dans la région de São Felix do Xingu-Tucumã (Amazonie Orientale, Brésil). Nouvelles données géochronologiques. *C. R. Acad. Sci. Paris*, **320**:937-944.
- Lamarão C.N., Dall'Agnol R., Lafon J.M., Lima E.F. 2002. Dois eventos vulcânicos paleoproterozóicos na Província Aurífera do Tapajós: novos dados isotópicos Sm-Nd e implicações para o Supergrupo Uatumã. In: SBG, Simp. Vulcanismo e Ambientes associados, Belém, Boletim de Resumos e Roteiro da Excursão, p.27.
- Lehmann B. & Mahawat C. 1989. Metallogeny of tin in central Thailand: A genetic concept. *Geology*, **17**:426-429.
- Le Maitre R. W. 1976. The chemical variability of some common igneous rocks. *Journ. Petrol.*, **17**(4):589-637.
- Loiselle M.C. & Wones D.R., 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geol. Soc. Am. Abst. Prog.*, **11**:468.
- Magalhães M.S., Dall'Agnol R., Sauck W.A., Luiz J.G. 1984. Suscetibilidade magnética: um indicador da evolução petrológica de granitóides da Amazônia. *Rev. Bras. Geoc.*, **24**:139-149
- Maniar P.D. & Piccoli P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geol. Soc. Amer. Bull.* **101**:635-643.
- Medeiros H., Gastal M.C.P., Dall'Agnol R., Souza Z.S. 1987. Geology of the Rio Maria area (Eastern Amazonian region - Brazil): an example of Archean granite-greenstone terrane intruded by anorogenic granites of Middle Proterozoic age. In: IUGS-Unesco, Final Meeting of 204-IGCP Project, Carajás, *Extended Abstract*, pp.97-109.
- Pearce J.A., Harris N.B.W., Tindle A.C. 1984. Trace Elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Jour. Petrol.*, **25**:956-983.
- Pitcher W.S. 1979. The nature, ascent and emplacement of granitic magmas. *Journ. Geol. Soc London*, **136**:627-662.
- Rämö O.T., Van Schmus W., Bettencourt J.S. 2002. Preface: IGCP project 426 - Granite Systems and Proterozoic Lithospheric Processes. *Prec. Research*, **119**:1-7.
- Shand S.J. 1922. The Problem of the Alkaline Rocks. *Proc. Geol. Soc. S. Afr.*, **25**, XIX-XXXIII.
- Shaw D.M. 1968. A review of K-Rb fractionation trends by covariance analysis. *Geochm. Cosmochm. Acta*, **32**:573-601.
- Smith J.V. & Brown W.L. 1988. *Feldspar minerals*. 2nd Ed. Berlin, Springer-Verlag, 828p.
- Streckeisen A. 1976. To each plutonic rocks its proper name. *Earth Sci. Rev.*, **12**:1-33.
- Sun S.S. 1982. Chemical composition and origin of the Earth's primitive mantle. *Geochm. Cosmoch. Acta.*, **46**:179-197.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian craton. *Episodes*, **22**:174-182.
- Taylor S.R. & McLennan S.M. 1985. *The continental crust: its composition and evolution*. London, Blackwell Scientific Publications. 312p.
- Teixeira N.P. & Dall'Agnol R. 1991. Geologia e petrografia do Maçço Granítico Antônio Vicente. Região de São Félix do Xingu/PA. *Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi. Ciências da Terra*, **3**:45-73.
- Teixeira N.P. & Andrade W.L.G. 1992. Caracterização Petrográfica dos stocks graníticos Benedita e Ubim/Sul. Região de São Felix do Xingu/PA. *Bol. Mus. Par. Emílio Goeldi, Ciências da Terra*, **4**:3-33.
- Teixeira N.P. 1999. *Contribuição ao estudo das rochas granitóides e mineralizações associadas da Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará*. Instituto de Geociências, USP, São Paulo, Tese de Doutorado, 508p.
- Teixeira N.P. & Bettencourt J.S. 2000. Velho Guilherme Intrusive Suíte. Pará, Brazil: petrogenetic aspects and associated mineralization. In: Intern. Geol. Congr., 31, Rio de Janeiro. *Abstract. Granite Systems and Proterozoic Lithospheric Processes IGCP-426, IAGC/IMA*. CD-ROM.
- Teixeira N.P., Bettencourt J.S., Moura C.A.V., Dall'Agnol R., Macambira E.M.B. 2002a. Archen crustal sources for paleoproterozoic tin-granites in the Carajás Province, SSE Pará, Brazil: Pb-Pb geochronology and Nd isotope geochemistry. *Prec. Res.*, **119**(1-4):2257-2275.
- Teixeira N.P., Bello R.M.S., Bettencourt J.S. 2002b. Inclusões fluidas do maçço Antônio Vicente, Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Rev. Bras. Geoc.*, **32**(1):135-146.
- Turekian K.K. & Wedepohl K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *GSA. Bull.* **72**:172-202.
- Tuttle O.F. & Bowen N.L. 1958. Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi₃O₈-SiO₂-H₂O. *GSA Memoir*, **74**:1-153p.
- Whalen J.B., Currie K.L., Chappell B.W. 1987. A-Type granite: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contr. Mineral. Petrol.*, **95**:407-419.

Manuscrito A-1460

Recebido em 11 de agosto de 2003

Revisão dos autores em 30 de abril de 2005

Revisão aceita em 15 de maio de 2005