



**Geologia e Geoquímica do Sienito Pedra Branca, SW Minas Gerais, Brasil:
Implicações para origem e evolução magmática**

***Geology and geochemistry of Pedra Branca syenite, SW Minas Gerais, Brazil:
implications for origin and magmatic evolution***

Bruna Borges Carvalho¹, Valdecir de Assis Janasi²

¹ Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil, bruna.borges.carvalho@usp.br

² Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Brasil, vajanasi@usp.br

Resumo

O Sienito Pedra Branca (~610 Ma) é um plúton tardi-orogênico intrusivo na *Nappe* Socorro-Guaxupé, sudeste do Brasil, composto de sienitos ricos em potássio cristalizados sob condições fortemente oxidantes, que possuem elevados teores em LILE como Ba (4000-10000 ppm) e Sr (2000-4500 ppm), além de outros elementos como P₂O₅ (1,0-2%) e ETRL (La= 100-300 ppm).

O plúton apresenta um zoneamento mineralógico caracterizado pela presença de sienitos fortemente laminados saturados em sílica (paragênese máfica: augita sódica a egirina-augita + flogopita ± edenita + hematita + magnetita + titanita + apatita) nas suas bordas N e S-SE e sienitos portadores de quartzo (paragênese máfica: diopsídio + biotita ± hornblenda ± ortopiroxênio + ilmeno-hematita + titanita + apatita) em sua porção central. Raros enclaves microgranulares máficos e xenocristais de plagioclásio ocorrem apenas nos sienitos supersaturados.

As semelhanças geoquímicas entre todos os sienitos do plúton demonstram que, apesar do contraste mineralógico e saturação em sílica, eles têm origem comum e parecem derivar de magmas parentais do tipo minette. Os presentes dados são consistentes com um modelo no qual um magma de tendência peralcalina (fácies saturada) dá origem a um magma metaluminoso (fácies supersaturadas) por interação com um "componente basáltico".

Palavras chave: sienito, manto terrestre, química mineral, geoquímica.

Abstract

The (~ 610 Ma), Pedra Branca Syenite is a late-orogenic pluton intrusive in the southern portion of the Socorro-Guaxupe *Nappe*, SE Brazil. The pluton is composed of K-rich syenites crystallized under strongly oxidizing conditions, which show high contents of LILE such as Ba (4000-10000 ppm) and Sr (2000-4000 ppm) and other elements as P₂O₅ (1,0-2%) and LREE (La = 100-300 ppm).

The pluton has a mineralogical zoning, with strongly laminated saturated silica syenites (mafic assemblage: sodic augite to egirine-augite + phlogopite ± edenite + hematite + magnetite + titanite + apatite) at its N and S-SE borders and supersaturated syenites (mafic assemblage: diopside + biotite ± hornblende ± orthopyroxene + ilmeno-hematite + titanite + apatite) at the inner portions. Rare mafic microgranular enclaves and plagioclase xenocrysts only appear in the supersaturated syenites.

Despite the contrasts in mineralogy and silica saturation, the geochemical similarities between all syenitic units suggest that they have a similar origin, possibly derived from minette parental magmas. These data are consistent with a model in which peralkaline magma (saturated facies) gives rise to a metaluminous magma (supersaturated facies) by interaction with a "basalt component".

Keywords: syenite, earth mantle, mineral chemistry, geochemistry.

1. Introdução

O Sienito Pedra Branca, situado na porção sul do Estado de Minas Gerais, sudeste do Brasil, é um plúton neoproterozóico (~610 Ma), de formato originalmente semicircular com ca. 13 km de diâmetro, que foi truncado a oeste pelo Maciço Alcalino de Poços de Caldas, de idade cretácea. É formado essencialmente por sienitos que têm geoquímica peculiar caracterizada por teores elevados de elementos litófilos (K, Ba, Sr), além de outros elementos incompatíveis como fósforo e elementos terras raras leves. É formado por quatro pulsos principais, dispostos como anéis concêntricos, três deles são constituídos por sienitos portadores de pequenas proporções de quartzo (supersaturados em sílica) e apresentam paragênese máfica com diopsídio + biotita ± hornblenda + titanita + ilmeno-hematita ± magnetita (± ortopiroxênio apenas na unidade central). A quarta unidade, que constitui a margem externa de boa parte do plúton, é formada por sienitos laminados saturados em sílica (localmente insaturados, com nefelina) com paragênese máfica distinta, com egirina-augita + flogopita + hematita + magnetita + titanita (Janasi, 1996).

As ocorrências de sienitos ultrapotássicos têm chamado a atenção de pesquisadores de diversas partes do mundo devido às suas características peculiares, que sugerem origens a partir de fontes do manto enriquecido, rico em flogopita e clinopiroxênio, porém com olivina rara ou ausente (Foley, 1992). O enriquecimento do manto, responsável pela geração destes horizontes de flogopita-clinopiroxenito, pode estar relacionado com processos de subducção, anteriores à fusão, que possibilitam mobilização de elementos incompatíveis, principalmente os elementos litófilos de íon grande (LILE) (Roger, 1992).

As semelhanças geoquímicas existentes entre as diferentes unidades sugerem que, apesar de seus contrastes, eles têm origem comum, e possivelmente derivam de magmas parentais do tipo *minette*, gerados por fusão de horizontes do manto subcontinental modificado por fluidos metassomáticos durante eventos prévios de subducção.

2. Geologia Regional

O Sienito Pedra Branca é intrusivo na Nappe Socorro-Guaxupé (NSG), um terreno alóctone que cavalga, a leste, o sul do Cráton do São Francisco (Campos Neto e Caby, 2000). A NSG é parte de um sistema de *nappes* que resultou da convergência entre as placas Sanfranciscana e Paranapanema no final do Neoproterozóico, e corresponde a um domínio de arco magmático desenvolvido na margem continental ativa da Placa Paranapanema pouco antes da colisão (Campos Neto *et al.*, 2004). As estruturas sin-metamórficas dessa *nappe* são cortadas por dois plútons subcirculares de sienitos ricos em potássio: Pedra Branca e Capituva (Janasi *et al.*, 1993).

A NSG apresenta, na região de ocorrência do Sienito Pedra Branca, uma grande variedade de rochas graníticas (Fig. 1). Rochas encaixantes de caráter migmatítico são também predominantemente graníticas, e constituem os complexos metamórficos Pinhal (ortoderivado) e Caconde (seqüência supracrustal, dominada por paragneisses quartzosos e metapelitos-metagrauvacas; Campos Neto e Figueiredo, 1985); ambos os complexos passam a equivalentes granulíticos a N-NE. Quatro grupos principais de rochas graníticas podem ser reconhecidos:

(1) uma suíte de afinidade cálcio-alcálica potássica, que forma o Batólito Pinhal-Ipuiúna (Haddad, 1995) e várias ocorrências menores, datada em ~620 Ma (U-Pb em zircão (Janasi *et al.*, 2007).

(2) duas suítes "charnockíticas" datadas em ~625 Ma, uma mais félsica e derivada de granulitos com idades-modelo Sm-Nd da ordem de 1,5 Ga. (suíte mangerito-sienogranito São Pedro de Caldas) e outra mais máfica (com maior proporção de dioritos e menor volume de granitos associados), e derivada de granulitos com maior residência crustal (TDM > 1,8 Ga.), a suíte Divinolândia (Janasi, 2002).

(3) os biotita granitos anatéticos equi a inequigranulares "tipo Pinhal" (Wernick e Penalva, 1980; Janasi *et al.*, 2007), derivados da fusão parcial de ortogneisses, e também com idades de aproximadamente 625 Ma (Janasi, 1999);

(4) os sienitos Pedra Branca e Capituva, que marcam o final da evolução magmática na região, datados em ~610 Ma (Töpfner, 1996).

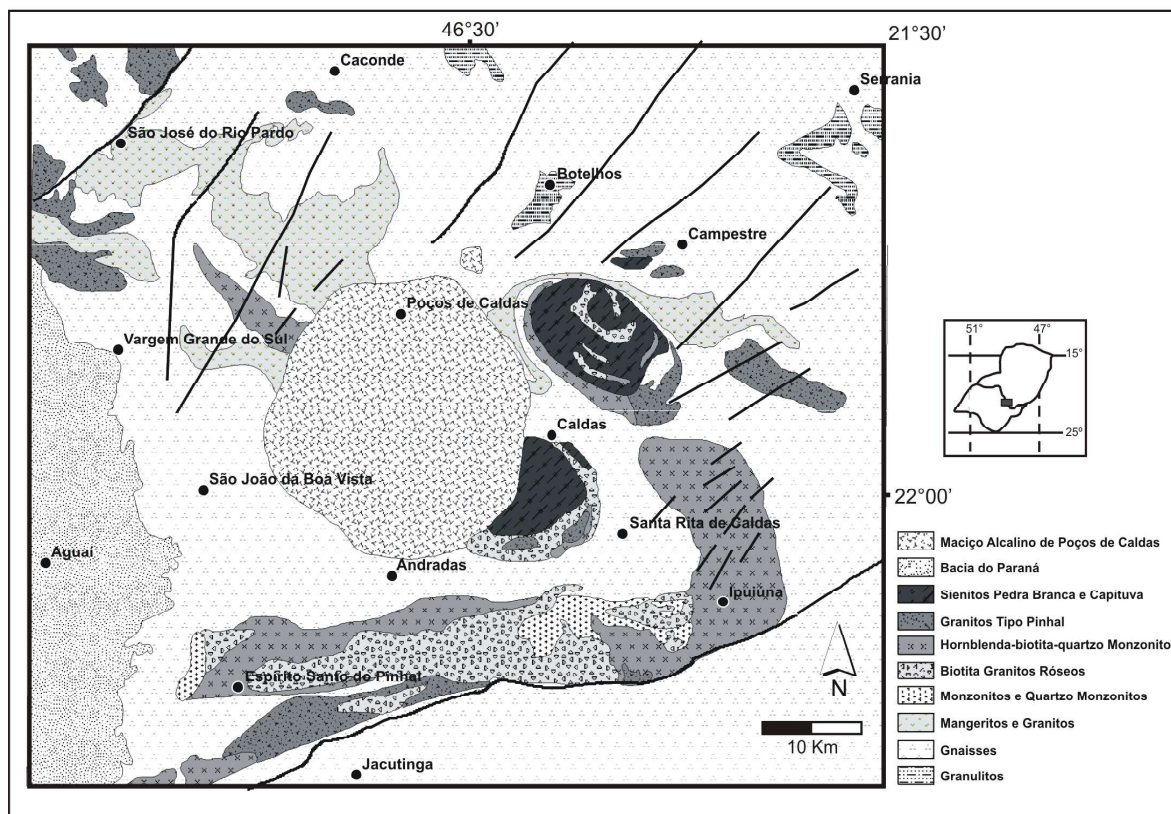


Fig. 1- Mapa Geológico do extremo sul do Domínio Guaxupé, sudeste do Brasil (Janasi, 1999).

3. Geologia do Sienito Pedra Branca

O mapa geológico simplificado do Sienito Pedra Branca (Fig. 2) mostra os quatro pulsos magmáticos principais, agrupados em uma unidade saturada a insaturada em sílica (Pedra do Coração; UPC) e três unidades supersaturadas, Pico da Pedra Branca (UPPB), Serrote do Maranhão (USM) e Cachoeira do Capitão (UCC). A UPPB forma um semi-anel intermediário que sustenta boa parte das maiores elevações do plúton, a Serra da Pedra Branca, e é circundada por um anel externo formado pela UPC. O Sienito Pedra Branca é intrusivo em granitos cálcio-alcalinos e gnaisses migmatíticos, e é truncado a oeste por rochas alcalinas (fonolitos e nefelina sienitos) do Maciço Poços de Caldas, de idade cretácea.

3.1 Unidade Pedra do Coração

A UPC ocorre nas bordas N e SSE do plúton, e é constituída por sienitos saturados a localmente insaturados em sílica (com nefelina, encontrada apenas em um afloramento), com uma forte foliação magmática evidenciada por K-feldspatos alongados (Razão axial $R_a = 4$) (Fig. 3A).

Esses sienitos são laminados, têm cor marrom-arroxeadada e textura inequigranular média a grossa. Os índices de cor (IC) variam em torno de 25 e os principais minerais são feldspato alcalino, piroxênio, biotita, anfibólio e óxidos de Fe-Ti, além de importantes volumes (>1%) dos minerais acessórios titanita e apatita.

Cumulatos máfico-ultramáficos de dimensões variadas (5 cm a 40 cm) e cumulos félsicos (ou feldspáticos) são encontrados associados a sienitos de índice de cor elevado, ou melasienitos (IC= 45), em feições de retrabalhamento por fluxo magmático (Fig. 3E).

Diques tardios de até 40 cm, de composição quartzo sienítica, são intrusivos nos sienitos, com contatos retilíneos ou sinuosos (Fig. 3F). Alguns desses diques podem apresentar bandamentos composicionais com níveis pegmatíticos e aplíticos.

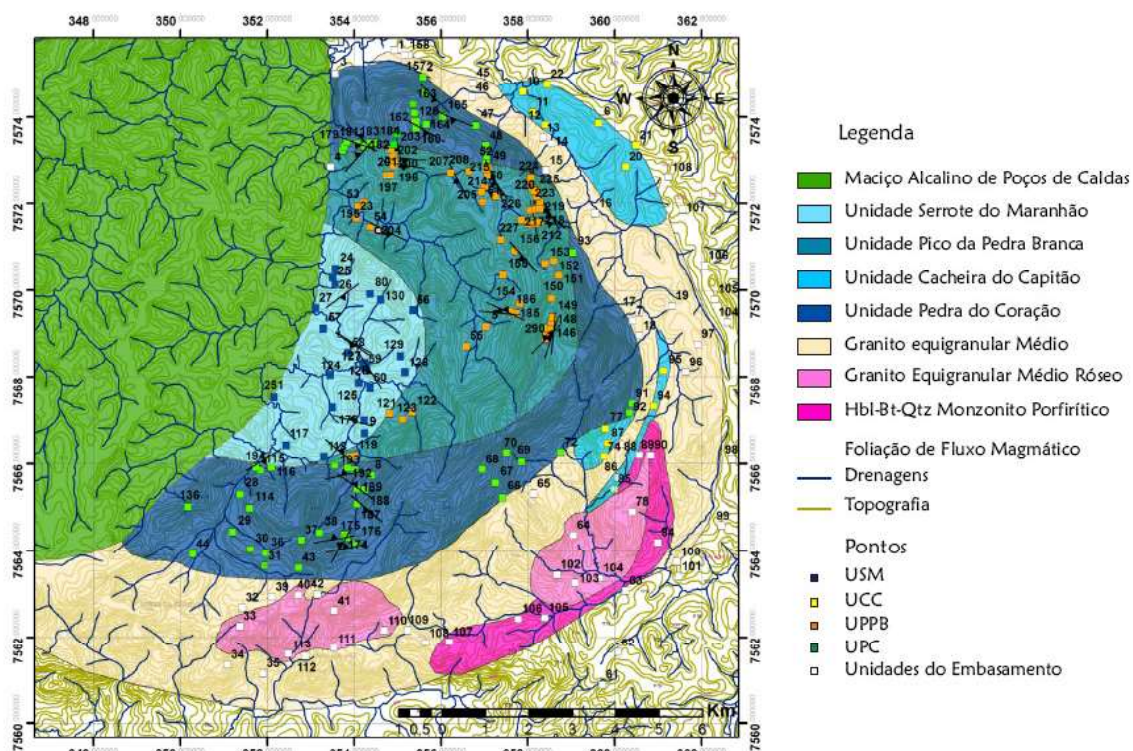


Fig. 2- Mapa Geológico do plúton Pedra Branca.

3.2 Unidade Pico da Pedra Branca

Internamente à UPC, em contato intrusivo, ocorrem os sienitos da UPPB, que se diferenciam pela geometria menos alongada dos cristais tabulares de feldspato alcalino ($Ra = 2,5$), resultando numa foliação magmática menos marcada, embora ainda muito evidente (Fig. 3B).

Esses sienitos são portadores de quartzo ($< 5\%$), e contêm feldspato alcalino, piroxênio, anfibólio, biotita, titanita e apatita (esta em proporções de até 2%). Em algumas amostras existe pequena proporção de plagioclásio, que tem formas corroídas e é englobado por feldspato alcalino, sugerindo tratar-se de xenocristais (Fig. 3D). Acumulações de minerais máficos são comuns, e podem conter pequenos enclaves dioríticos (nas unidades supersaturadas), ou formar faixas concordantes com a foliação magmática.

Os enclaves microgranulares máficos (Fig. 3C) encontrados na unidade têm dimensões variadas e apresentam em sua composição principalmente plagioclásio, piroxênio, anfibólio e algum quartzo, além de apatita e minerais opacos. Nas bordas do enclave se desenvolve grande quantidade de biotita sugerindo desequilíbrio com a rocha hospedeira. Os cristais de plagioclásio em feições de desequilíbrio são observados nas proximidades dos enclaves microgranulares, ou isoladamente.

3.3 Unidade Serrote do Maranhão

A USM ocorre em uma área de relevo rebaixado na porção central do plúton. É constituída por sienitos supersaturados finos a médios. Os minerais máficos principais são piroxênio, anfibólio, biotita e apatita, podendo ocorrer ortopiroxênio. A foliação magmática é menos evidente que nas demais unidades. Em alguns afloramentos, ocorrem grandes cristais de biotita irregular.

3.4 Unidade Cachoeira do Capitão

A UCC forma corpos lenticulares isolados separados do corpo principal por um septo de granitos. Trata-se de sienitos laminados médios, localmente mais ricos em biotita, que se assemelham texturalmente às rochas típicas do Sienito Capituva, situado logo a NE (Janasi, 1993).

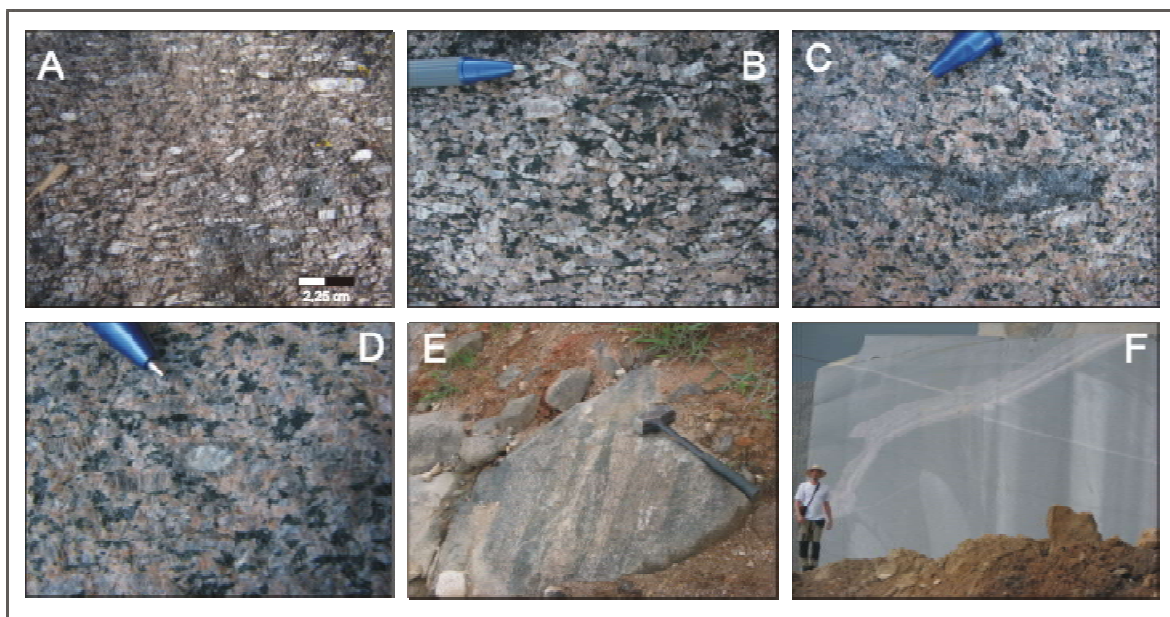


Fig. 3 – A) Foliação magmática em sienito saturado (UPC), com feldspato alcalino bem alongado ($R_a = 4$); B) Foliação magmática em sienito supersaturado (UPPB), com feldspato alcalino mais longo ($R_a = 2,5$); C) Enclave microgranular máfico de composição diorítica em sienito supersaturado (UPPB); D) Xenocristal de plágioclásio envolvido por feldspato alcalino em sienito supersaturado (UPPB); E) Cumulatos máficos intercalados com melasienito (UPC); F - Dique de quartzo sienito, com bandamento composicional, intrudindo veio granítico tabular (UPC).

4. Petrografia

Os sienitos portadores de quartzo ocorrem em unidades textural e mineralogicamente distintas, porém todas elas apresentam diposídio, cor verde claro a incolor, com inclusões de minerais opacos (Fig. 4B). Na unidade USM, pode ocorrer enstatita, na forma de pequenos cristais granulares, em parte alterados para massas de filossilicatos. A hornblenda é verde escura, e substitui total ou parcialmente o piroxênio e juntamente com a biotita representa as fases tardias da cristalização. Os cristais de feldspato alcalino, fase mais abundante nessas rochas, têm hábito tabular e aspecto turvo, e são fortemente pertíticos. Em algumas amostras são encontrados cristais isolados de plagioclásio (em geral An_{30-40}), com bordas corroídas, incluído no feldspato alcalino (Fig. 4E). O quartzo é intersticial, na forma de pequenos cristais isolados, em proporções sempre inferiores a 6%. O mineral opaco principal é a ilmeno-hematita (Fig. 4D) que se associa ao diopsídio precoce. A magnetita, menos abundante, associa-se a hornblenda e biotita tardias.

Os sienitos saturados da UPC caracterizam-se pela ausência de quartzo e pela coloração verde-escuro do clinopiroxênio (Fig. 4A). Em uma única amostra foi encontrada nefelina intersticial, em proporções menores que 1%. O mineral mais abundante é o feldspato alcalino (65% em volume) de hábito tabular fortemente alongado, definindo a foliação magmática da rocha. Apresenta aspecto "sujo", devido à grande quantidade de inclusões de hematita, e pode mostrar zoneamento composicional. O clinopiroxênio verde-escuro tem caráter idiomórfico a subidiomórfico, indicando tratar-se de fase precoce. A hornblenda não é comum nesta unidade, porém se presente apresenta cor verde-clara e hábito xenomórfico, e a flogopita de cor alaranjada ocorre sempre em associação com clinopiroxênio e minerais opacos (Fig. 4A). Os minerais opacos são magnetita e hematita (Fig. 4C) pobre em lamelas de ilmenita (<10%), de cristalização precoce. Quando associada à hornblenda, a hematita tem maior proporção de lamelas de ilmenita.

Em todos os sienitos do plúton são muito abundantes como minerais acessórios a apatita e a titanita, que pode se mostrar zonada e formar bordas em minerais opacos.

Os enclaves microgranulares máficos (Fig. 4F), exclusivos das unidades supersaturadas, têm textura granoblástica, e são constituídos por plagioclásio (An_{30-35}), diopsídio, hornblenda e

algum quartzo. Biotita desenvolve-se principalmente nas bordas, e é o mineral máfico mais abundante nos enclaves menores.

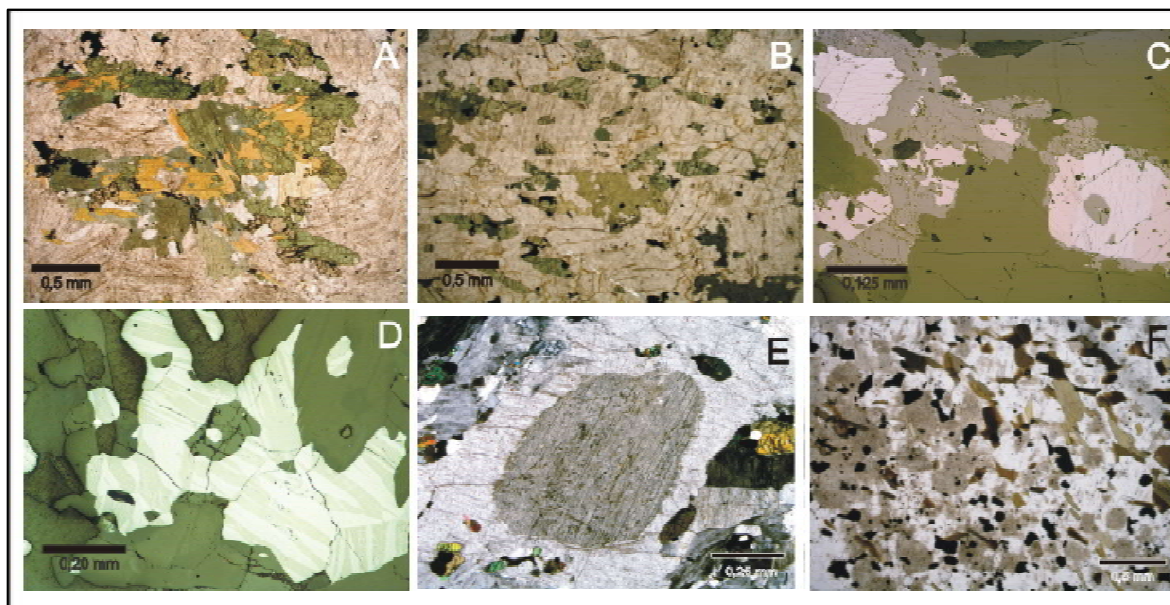


Fig. 4 – Fotomicrografias das principais texturas dos sienitos do plúton Pedra Branca. A) Aspecto geral dos sienitos saturados (UPC), com piroxênio verde escuro (rico no componente acmita) associado à edenita, biotita e minerais opacos. B) Aspecto geral dos sienitos supersaturados com diopsídio verde claro e edenita verde escura. C) Associação típica de minerais opacos dos sienitos saturados (UPC): hematita quase pura, pobre em lamelas de ilmenita e magnetita (vistos à luz refletida). D) Cristal de ilmeno-hematita, com maior proporção de lamelas, encontrado nos sienitos supersaturados. E) Xenocristal de oligoclásio com bordas irregulares sugerindo desequilíbrio com o magma sienítico hospedeiro, supersaturado da UPPB. F) Enclave microgranular com plagioclásio, biotita, opacos e quartzo encontrado na unidade supersaturada UPPB.

5. Química Mineral

A química dos minerais máficos mostra importantes diferenças composicionais que refletem variações nas condições de cristalização das unidades do plúton (Carvalho, 2007).

Os piroxênios das unidades supersaturadas do sienito Pedra Branca são classificados como diopsídio e (na USM) enstatita. O piroxênio verde-escuro da UPC é soda-augita ou egrina-augita, demonstrando a tendência alcalina desta unidade, evidenciada pela troca catiônica $\text{Fe}^{3+} + \text{Na}^+ \leftrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{Ca}^{2+}$. Os anfibólios de todas as unidades correspondem quimicamente a edenitas, mas o anfibólio claro da UPC tem maior Mg# e menor proporção de Al no sítio tetraédrico. A "biotita" é fortemente magnesianas, em especial na UPC, e tem composição equivalente à de flogopita. Nas unidades supersaturadas o anfibólio e a biotita possuem maiores proporções de Al, se comparados à UPC.

6. Geoquímica

As análises de elementos maiores e traços foram obtidas por Fluorescência de Raios X e elementos traço adicionais, incluindo os elementos terras-raras, Th, U, Hf e Nb, foram analisados por ICP-MS, em laboratórios do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Um total de 28 amostras foram analisadas, 25 são sienitos e 3 delas são rochas ultramáficas encontradas em associação com os mesmos.

Os sienitos do Plúton Pedra Branca mostram variação restrita nos teores de SiO_2 (53-61%) tanto nas unidades supersaturadas quanto na saturada. As rochas ultramáficas associadas aos sienitos têm teores de SiO_2 inferiores a 45%, e têm índices Mg# são da ordem de 52-54, similares aos dos sienitos mais primitivos (Fig. 5A). Uma das amostras apresenta maior Mg# (~65) e pode representar um magma mais primitivo associado aos sienitos.

O diagrama A/NK versus A/CNK demonstra o caráter metaluminoso de todas as unidades; observa-se, no entanto, que a unidade saturada alcança valores menores de A/CNK e tem A/NK muito próximos de 1, no limite com o campo peralcalino (Fig. 5B). O conteúdo de Al_2O_3 é maior

nas rochas supersaturadas (Fig. 5C), o que se reflete na maior proporção de anortita normativa. Todos os sienitos do plúton apresentam altos teores de P_2O_5 ($> 0,7\%$), que podem ser notavelmente elevados (2,7-3,5%) nas rochas ultramáficas (Figura 5D).

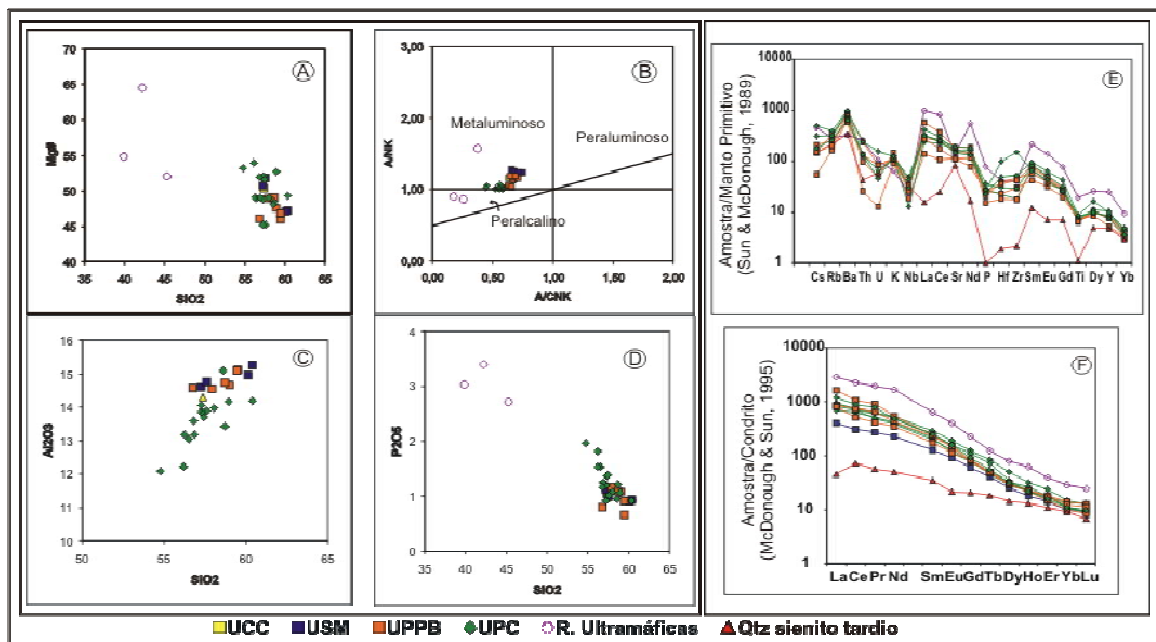


Fig. 5 – A, C e D) Diagramas de elementos maiores utilizando SiO_2 como índice de diferenciação B) Diagrama de afinidade geoquímica ANK vs. ACNK (Maniar e Piccoli, 1989). E) Diagrama multi-elementar de incompatíveis (Normalizados pelo manto primitivo de Sun & McDonough, 1989). F) Diagrama de elementos Terras Raras (Normalizados pelo valor condrito de McDonough & Sun, 1995).

Característica comum a todos os sienitos do Plúton Pedra Branca são os altos teores em elementos incompatíveis, em especial os LILE ($K_2O=5,5-9,0\%$; $Ba=3700-9500$ ppm; $Sr=1500-4500$ ppm) e os Elementos Terras Raras Leves (LREE); a unidade saturada tende a apresentar os teores mais elevados de todos eles.

O plúton como um todo apresenta elevadas razões $(La/Yb)_N$, refletindo o forte fracionamento dos elementos terras raras leves (Fig. 5F); a ausência de anomalia negativa de Eu sugere que o fracionamento de feldspatos não foi importante na geração dos sienitos típicos do plúton.

Os padrões de elementos incompatíveis normalizados pelo manto primitivo (Sun & McDonough, 1989) ressaltam o notável enriquecimento em elementos litófilos e elementos terras raras leves em relação aos HFS (Ta-Nb, Hf-Zr e Ti) e Th e U, que apresentam anomalias negativas (Fig. 5E).

7. Evolução Magmática

Neste trabalho demonstrou-se, através das paragéneses e a química mineral, o importante contraste existente entre os sienitos da unidade saturada (UPC) e as demais unidades do Sienito Pedra Branca (USM, UCC e UPPB), que têm caráter supersaturado em sílica.

O zoneamento mineralógico do plúton é marcado pela diferença na saturação em sílica dos sienitos e suas paragéneses máficas. A presença da associação hematita + magnetita na UPC demonstra o caráter fortemente oxidado dessa unidade, que se reflete na formação de minerais máficos mais magnesianos, como é o caso da flogopita, e de piroxênio rico no componente acmita, associado à troca catiônica $Fe^{3+} + Na^+ \rightleftharpoons (Mg, Fe^{2+}) + Ca^{2+}$.

As características geoquímicas comuns a todas as unidades, como altos teores de elementos litófilos (K, Ba, Sr) e elementos terras raras leves sugere uma origem comum para os sienitos, que possivelmente tiveram magma parental de composição equivalente a minettes, produzidos pela fusão parcial em horizontes enriquecidos no manto litosférico (Janasi, 1993).

Os conteúdos dos elementos maiores também são similares em todos os sienitos, exceto os teores de Al_2O_3 , maiores na UPPB, o que se reflete em um maior conteúdo de anortita normativa. Esta característica, associada à presença de enclaves microgranulares máficos e de

cristais reliquiais de plagioclásio, nesta unidade reforça a idéia de uma possível contaminação durante a evolução destes magmas. Uma possível explicação para a variação composicional observada seria que um magma de tendência peralcalina como o que deu origem à UPC poderia adquirir caráter metaluminoso ao incorporar um "componente basáltico" (por exemplo, pela interação com um magma básico representado pelos enclaves microgranulares), dando origem a um magma semelhante ao que gerou UPPB.

Agradecimentos

À Fapesp (Proc. 2007/00635-5) pelo financiamento da pesquisa e à CAPES pela concessão de Bolsa de Mestrado.

Referências

- Campos Neto, M. C., Basei, M. A. S., Vlach, S. R. F., Caby, R., Szabó, G. A. J., Vasconcelos, P., 2004. Migração de orógenos e superposição de orogêneses: um esboço da colagem brasileira no sul do Cráton do São Francisco, SE – Brasil. *Revista do Instituto de Geociências – USP, São Paulo*, 4, n.1, pp. 13- 40.
- Campos Neto, M.C., Caby, R., 2000. Terrane accretion and upward extrusion of high-pressure granulites in the Neoproterozoic nappes of southeast Brazil: Petrologic and structural constraints. *Tectonics*, v.19, n.4, pp. 669–687.
- Campos Neto, M. C., Figueiredo, M. C. H., 1985. Geologia das folhas São José do Rio Pardo e Guaranésia (porção paulista) 1:50.000.
- Carvalho, B.B., Janasi, V.A., 2007. Química de minerais máficos do Sienito Pedra Branca (MG): implicações para as condições de cristalização, XI Congresso Brasileiro de Geoquímica. *Anais. Sociedade Brasileira de Geoquímica, Atibaia, SP*, pp. CD-ROM.
- Foley, S., 1992. Petrological characterization of the source components of potassic magmas: geochemical and experimental constraints. *Lithos*, 28, pp. 187-204.
- Janasi, V.A., 1993. Petrogenesis and tectonic setting of the neoproterozoic Capituva K-syenite, SW Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geociências*, 23, n.2, p. 129-138.
- Janasi, V.A., 1996. Os sienitos potássicos neoproterozóicos do maciço Pedra Branca, SW de Minas Gerais: geologia, petrografia e geoquímica. In: Congresso Brasileiro de Geologia 39. Salvador, *Anais do Congresso*, v. 6, p. 453-455.
- Janasi, V. A., 1999. A idade dos granitos Nazaré Paulista e Pinhal, e implicações para o metamorfismo da Nappe Socorro-Guaxupé (SP-MG). In: VI Simpósio de Geologia do Sudeste, 1999, São Pedro, SP. *Boletim de Resumos*, p. 7-7.
- Janasi, V.A., 2002. Elemental and Sr-Nd isotope geochemistry of two Neoproterozoic mangerite suites in SE Brazil: implications for the origin of the mangerite-charnockite-granite series. *Precambrian Research*, 119: 301-327.
- Janasi, V.A., Haddad, R.C., Ulbrich, H.H.G.J. 2007. Geoquímica e isotopia Sr-Nd do Batólito Pinhal-Ipuiúna, Nappe Socorro-Guaxupé, SP-MG, XI Congresso Brasileiro de Geoquímica. *Anais. Sociedade Brasileira de Geoquímica, Atibaia, SP*, p. CD-ROM.
- Janasi, V.A., Vlach, S.R.F., Ulbrich, H.G.J., 1993. Enriched mantle contribution to the Itu Granitoid Belt, southeastern Brazil: evidences from K-rich diorites and syenites. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* v. 65, p. 107-118.
- McDonough, W.F., Sun, S.S., 1995. The composition of the Earth, *Chemical Geology*, v.120, pp228.
- Roger, N.W., 1992. Potassic magmatism as a key to trace-element enrichment processes in the upper mantle. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 50, p. 85-99.
- Sun, S.-S., McDonough, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A.D., Norry, M.J. Eds. , *Magmatism in Ocean Basins*. *Geol. Soc. Spec. Publ.*, London, pp. 313–345.
- Töpfner, C., 1996. Brasiliano-granitoide in den Bundesstaaten São Paulo und Minas Gerais, Brasilien- eiene Vergleichende studie. *Münchner Geol. Hefte* A17.
- Wernick, E., Penalva, F., 1980. Contribuição à geologia do Grupo Pinhal (SP e MG). *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo.