

MAGMATISMO ALCALINO INTRAPLACA NEOPROTEROZÓICO NO SUL DO ESTADO DA BAHIA: O BATÓLITO NEFELINA-SIENÍTICO ITARANTIM

MARIA DE LOURDES DA SILVA ROSA^{1,2,3}, HERBET CONCEIÇÃO^{2,3},
MOACIR JOSÉ BUENANO MACAMBIRA⁴, RITA CUNHA LEAL MENEZES^{2,3},
MÔNICA PRISGSHEIM DA CUNHA^{2,3}, DÉBORA CORREIA RIOS^{2,3,5} &
MOACYR MOURA MARINHO^{2,3,6}

Abstract *NEOPROTEROZOIC INTRAPLATE MAGMATISM IN SOUTHERN BAHIA: THE ITARANTIM NEFELINE-SIENITIC BATHOLITH* The Nepheline-Syenitic Itarantim Batholith, located at the southern area of the Alkaline Province of South Bahia, shows a Rb-Sr age of 727 ± 49 Ma, has a pear shape, and is constituted by syenites and nepheline-syenites. Around this body there is an aureole of fenites. The magmatic syenites (pyroxene-syenites with nepheline and biotite-nepheline-syenites) show diffuse contacts and are disposed along a NE-SW trend. The identified geochemistry evolution allows explaining the diversity of pyroxene-syenites through fractional crystallization. However, the biotite-nepheline-syenites, which evolve to lower SiO₂ contents and expressive by of Na₂O (up to 9.6%) and Al₂O₃ (up to 23.5%) increase reflect, probably, crystallization in an open system which is strong influenced by peralkaline fluids, as attested by the presence of fenites and enrichment of Zr (up to 5,100 ppm), Hf (up to 141 ppm), Th (up to 117 ppm), U (up to 74 ppm), Ta (up to 169 ppm) and Nb (up to 1372) in the dykes. The Nd and Sr values put the batholith rocks at the mantle array displaying an OIB geochemistry signature. The T_{DM} model ages of 1.1 Ga are the same observed for the toleitic magmas emplaced in this area. These data suggest that the Itarantim anorogenic magmatism is controlled by a NE-SW geosuture, and represents the rift segment which corresponds wiler the West-Congo Craton, where the alkaline magmatism is expressed by rhyolites, syenites and carbonatites.

Keywords: Nepheline-syenites, Neoproterozoic, Bahia, petrology, geochronology

Resumo O Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim, localizado no extremo sul da Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia e com idade Rb-Sr de 727 ± 49 Ma, tem forma de pêra, sendo constituído por sienitos e nefelina-sienitos. Envolvendo este corpo existe uma auréola de fenitos. Os sienitos magmáticos (piroxênio-sienitos com nefelina e biotita-nefelina-sienitos) exibem contatos difusos e mostram-se dispostos como faixas alinhadas NE-SW. A evolução geoquímica identificada permite explicar a diversidade dos piroxênio-sienitos por cristalização fracionada. Todavia, os biotita-nefelina-sienitos, que evoluem com decréscimo do conteúdo de SiO₂ e aumento expressivo em Na₂O (até 9,6%) e Al₂O₃ (até 23,5%), refletem, provavelmente, cristalização em sistema aberto com forte influência de fluidos peralcalinos, como testemunham a presença dos fenitos e o enriquecimento em Zr (até 5.100 ppm), Hf (até 141 ppm), Th (até 117 ppm), U (até 74 ppm), Ta (até 169 ppm) e Nb (até 1372) nos diques. Os valores dos épsilons de Nd e Sr posicionam as rochas deste batólito na *array mantle* com assinatura geoquímica de OIB. As idades modelos T_{DM} obtidas de 1,1 Ga correspondem à colocação de magmas máficos toleíticos nesta região. Estes dados apontam para que o magmatismo anorogênico Itarantim, provavelmente controlado pela geossutura NE-SW, represente o segmento do rifte de idade correspondente no Cráton do W-Congo, onde o magmatismo alcalino se expressa por riolitos, sienitos e carbonatitos.

Palavras-chave: Nefelina-sienitos, Neoproterozóico, Bahia, petrologia, geocronologia

INTRODUÇÃO Magmas alcalinos sub-saturados em sílica ocorrem no interior de placas continentais, associados a sistemas rifte; em placas oceânicas, associados a *hot spot*; ou ainda, como produto da ação de pluma mantélica. A gênese destes magmas é comumente interpretada como produto de baixa taxa de fusão parcial no manto. Logo, a presença de magmas alcalinos sub-saturados em SiO₂ constitui um marcador geodinâmico valioso quando se investiga a história evolutiva em terrenos antigos, pois sua instalação limita-se a períodos anorogênicos.

No Ciclo Brasileiro (900-500 Ma, Almeida *et al.* 2000), nos terrenos do Cráton do São Francisco, várias são as evidências de períodos anorogênicos ou distensivos (p.ex. formação de bacias,

magmatismo anorogênico), anteriores às colisões, cujas raízes são atualmente bem delimitadas geograficamente e razoavelmente alocadas no tempo (p.ex. Cordani *et al.* 2000, Mantesso-Neto *et al.* 2004). Diferentemente de outras faixas marginais do Cráton do São Francisco, a situada na região sul do Estado da Bahia e nomeada de Faixa Araçuaí apresenta expressivo magmatismo alcalino sub-saturado em SiO₂, acondicionado em geossutura por 150 km que adentra nos terrenos arqueano-paleoproterozóicos do cráton (Fig. 1). Esta estruturação provê, portanto, a oportunidade de investigar a gênese destas rochas alcalinas, posicioná-las temporalmente e, com isto, inferir o regime geodinâmico responsável por estas intrusões na evolução geológica no Neoproterozóico nesta

1 - Pesquisadora do CAPES – PRODOC – UFBA, E-mail: lourdes@cpgg.ufba.br

2 - Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral, Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia – IGEO – UFBA. Rua Caetano Moura, 123, Federação, CEP: 40201-340, Salvador-BA (herbet@ufba.br, mpcunha@ufba.br, menezesrita@hotmail.com, debora@cpgg.ufba.br)

3 - Curso de Pós-Graduação em Geologia – UFBA

4 - Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) – Universidade Federal do Pará. Caixa Postal 1611, CEP: 66075-900, Belém-PA (moamac@ufpa.br)

5 - Pesquisadora ProDoc da Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado da Bahia – FAPESB

6 - Companhia Baiana de Pesquisa Mineral – CBPM, 4ª Avenida, 460, Centro Administrativo da Bahia, CEP: 41750-300, Salvador-BA (cbpmdt@cbpm.com.br)

região do Cráton do São Francisco.

Neste contexto, o Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim, tratado neste artigo (geologia, petrografia, geoquímica e geocronologia), é uma intrusão-chave na investigação da evolução geotectônica, pois ele se localiza na zona limítrofe entre os terrenos arqueano-paleoproterozóicos do Cráton do São Francisco, a leste, e os terrenos brasileiros da Faixa Araçuai, a sudeste (Fig. 1). Além disso, este batólito representa a maior reserva brasileira de sienito com composição propícia para a utilização como fundente nas indústrias de cerâmica e vidro, na forma de pó de rocha, e rochas ornamentais (p.ex. Marrom-Bahia) têm sido exploradas ao longo da última década.

ROCHAS ALCALINAS NEOPROTEROZÓICAS NO SUL DO ESTADO DA BAHIA As rochas alcalinas neoproterozóicas do sul do Estado da Bahia foram inicialmente identificadas por Fujimori (1978) e, posteriormente, reunidas por Silva Filho *et al.* (1976) sob a terminologia de Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia (PASEBA, Fig. 1B). Esta província congrega alguns batólitos (Itabuna, Floresta Azul, Serra das Araras e Itarantim), grande número de *stocks* (p. ex. Rio Pardo, Itaju do Colônia, Morro da Santa), e algumas centenas de diques. Os corpos maiores apresentam-se regionalmente alinhados segundo a direção NE-SW (Fig. 1), cujo controle estrutural tem sido atribuído a um conjunto de falhas profundas, antigas, que condicionou a colocação destes magmas e relacionadas à tectônica situada entre os períodos Paleoproterozóico e Mesoproterozóico (Silva Filho *et al.* 1976; Mascarenhas & Garcia 1987; Pedreira 1999). Estas falhas foram reativadas no Neoproterozóico, posteriormente à intrusão dos corpos alcalinos, o que é evidente nos corpos da região norte da PASEBA (Pedreira *et al.* 1975, Silva Filho *et al.* 1976, Lima *et al.* 1981, Corrêa-Gomes & Oliveira 2002).

As relações de contato entre as intrusões alcalinas e as rochas do embasamento são bem definidas e revelam alto contraste térmico e de viscosidade, indicando que as condições reinantes quando da instalação dos magmas nas câmaras atualmente expostas situavam-se entre 6 - 8 km de profundidade.

Na grande maioria das intrusões sieníticas da PASEBA a sodalita de cor azul está presente. Todavia, somente naquelas da parte central e sul, têm-se mineralizações em concentrações econômicas de sodalita-sienitos de cor azul (Azul-Bahia), que têm sido exploradas por mais de 40 anos como rocha ornamental. Recentemente, os fragmentos de cristais de sodalita azul têm sido utilizados para a fabricação de peças de joalheria e artesanato.

Geologia Regional Neste setor do Estado da Bahia (Fig. 1B) são reconhecidos quatro grandes conjuntos distintos de rochas: embasamento granulítico e gnáissico-migmatítico arqueano-paleoproterozóicos; diques máficos mesoproterozóicos; rochas metassedimentares; e intrusões alcalinas neoproterozóicas.

Duas unidades distintas de rochas constituem o embasamento da PASEBA. A mais bem conhecida, localizada na sua parte norte, é formada por rochas metamórficas de alto grau, usualmente reportada na literatura como Cinturão Itabuna (Martins & Santos 1997). Estes terrenos granulíticos reúnem rochas com afinidades toleítica, cálcio-alcalina e shoshonítica. Estas rochas têm sido interpretadas como a expressão de um arco magmático arqueano-paleoproterozóico. A outra unidade de rochas do embasamento, localizada no extremo sul da PASEBA e que faz contato por falha (NW-SE, Fig. 1B) com as rochas granulíticas, é constituída por rochas gnáissico-migmatíticas. Sobre estas rochas existem alguns

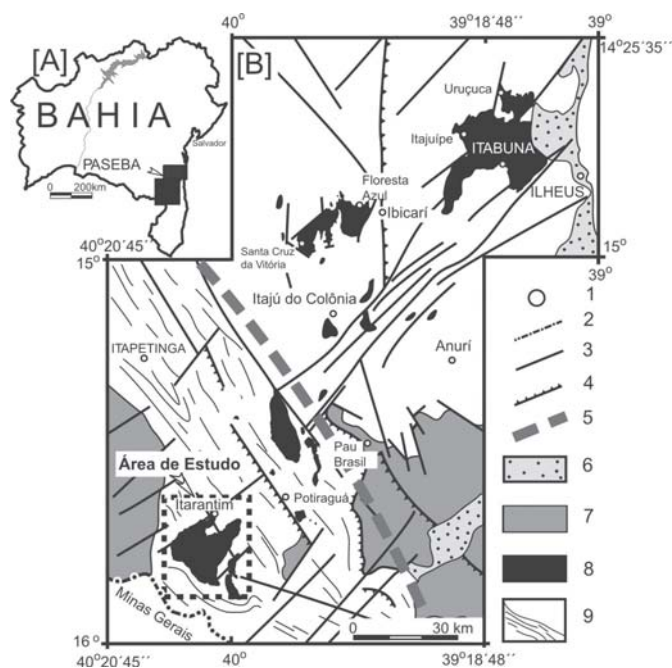


Figura 1 Localização da área de ocorrência das rochas alcalinas neoproterozóicas do sul do Estado da Bahia [A]. Mapa geológico simplificado da Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia segundo Rosa *et al.* (2003) [B]. Cidades [1], limite estadual [2], falhas e fraturas [3], falha de acavalcamento [4], limite entre a Faixa Araçuai, a leste, e o Cráton do São Francisco, a oeste, segundo Teixeira *et al.* (1997) [5], sedimentos recentes [6], maciços alcalinos neoproterozóicos [7], rochas metassedimentares neoproterozóicas [8], rochas arqueano-paleoproterozóicas [9, a = granulíticas e b = gnáissico-migmatíticas].

dados geológicos e raras descrições petrográficas (Silva Filho *et al.* 1976). Análises químicas obtidas para rochas gnáissicas do município de Potiraguá (Rosa *et al.* 2004) mostram afinidade com suíte TTG, similares às descritas para os núcleos arqueanos do Cráton do São Francisco (p.ex. Cruz Filho 2004).

Rochas mesoproterozóicas na região da PASEBA ocorrem como diques máficos no município de Itabuna, com idades entre 1000 e 900 Ma (René *et al.* 1990).

No Neoproterozóico instalaram-se nesta região vários corpos alcalinos, de natureza essencialmente nefelina sienítica, e bacias sedimentares continentais, das quais a mais bem conhecida é a de Rio Pardo (p.ex. Pedreira 1999) que guarda seixos de rochas sieníticas, alguns deles portadores de sodalita, nos conglomerados da Formação Panelinha.

Geocronologia Após os trabalhos pioneiros de Cordani *et al.* (1974) e Bernat *et al.* (1977), que obtiveram idades K-Ar e Ar-Ar em minerais para as rochas da PASEBA (390 - 740 Ma), tem-se as determinações Rb-Sr, em rocha total, de Lima *et al.* (1981) e Mascarenhas & Garcia (1987). Novas determinações U-Pb e Pb-Pb em zircão foram apresentadas mais recentemente por Teixeira *et al.* (1997), Corrêa-Gomes & Oliveira (2002) e Rosa *et al.* (2002, 2003). Estas últimas possibilitaram precisar melhor o intervalo da idade de cristalização destes corpos alcalinos como estando compreendida entre 689 - 730 Ma. Rosa *et al.* (2003), com base nestas

informações, estabelece que a intrusão deste magmatismo está limitada a 41 Ma e que as intrusões iniciam-se de sul para norte. Neste contexto, as idades mais jovens disponíveis e situadas entre 500 e 550 Ma (Ar-Ar, K-Ar, Rb-Sr) são interpretadas por Rosa *et al.* (2003) como expressão da Orogenia Araçuaí, cujo clímax foi posicionado por Pedrosa-Soares *et al.* (2001) em 550 Ma.

Geoquímica Na PASEBA dominam rochas alcalinas intermediárias miasquíticas, sendo que os termos menos evoluídos (gabros e dioritos) são mais abundantes nos maciços de sua porção norte, apontando a dominância nesta província de magmas diferenciados (Conceição 1990). Os dados químicos disponíveis para as rochas da PASEBA permitem identificar a presença de duas tendências evolucionais distintas (sub-saturada e saturada em SiO_2 , Fig. 2A) que foram interpretadas por Conceição *et al.* (1992) como controladas pelo fracionamento precoce de minerais máficos (clinopiroxênio e hornblenda, respectivamente). Em ambos conjuntos de rochas os conteúdos em elementos-traço as situam no domínio do magmatismo anorogênico (Fig. 2B). Rosa *et al.* (2004), com base nos espectros dos ETR e na ausência de anomalia em Nb e Ta, em espectro normalizado pelo manto primitivo, identifica

assinatura de fonte OIB para as rochas saturadas a super-saturadas em SiO_2 do Maciço Sienítico Serra das Araras, localizado no município de Potiraguá, na parte sul da PASEBA.

GEOLOGIA E ASPECTOS ECONÔMICOS DO BATÓLITO NEFELINA-SIENÍTICO ITARANTIM O Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim (BNSI) aflora por aproximadamente 230 km^2 e sua geometria lembra a forma de uma pêra (Fig. 3). Ele tem orientação SW-NE, seguindo a tendência dos outros corpos alcalinos da PASEBA (Fig. 1). Em campo, percebe-se que grande parte das rochas sieníticas se apresenta com relevo arrasado, contrastando com o relevo mais acentuado das rochas gnáissicas do embasamento. O BNSI é constituído por três fácies petrográficas principais. Duas delas são magmáticas e nomeadas de Serra Rancho Queimado, situada a norte, e de Serra do Felíssimo, situada a sul (Oliveira 2003). A outra é de natureza metassomática (fenitos), envelopa as rochas ígneas do BNSI, representando cerca de 45% do batólito. Os fenitos têm sua maior expressão areal na parte noroeste do maciço (Fig. 3). Ocorrem também no BNSI diques alcalinos variados (máficos, fonolíticos, pegmatíticos). Os diques máficos estão em geral alterados e os alcalinos com textura pegmatítica

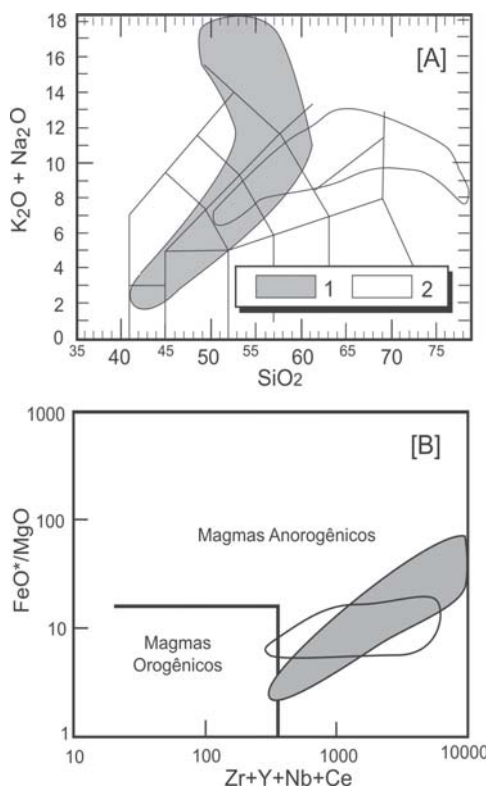


Figura 2 - Diagrama TAS com as tendências evolucionais sub-saturada e saturada em SiO_2 das rochas da Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia [A]. Diagrama FeO^*/MgO versus $\text{Zr}+\text{Nb}+\text{Ce}+\text{Y}$ (Wharlen *et al.* 1987) com os campos de magmas orogênicos e anorogênicos [B]. Tendência sub-saturada [1]; tendência saturada [2]. Na confecção destas figuras foram utilizados os dados químicos disponíveis na literatura sobre esta província: Souto (1972), Fujimori (1978), Lima *et al.* (1981), Arcanjo (1993), Martins & Santos (1997), Marques *et al.* (2001), Oliveira (2003), Cunha (2003), Rosa *et al.* (2002, 2003, 2004), Peixoto (2005), Menezes (2005).

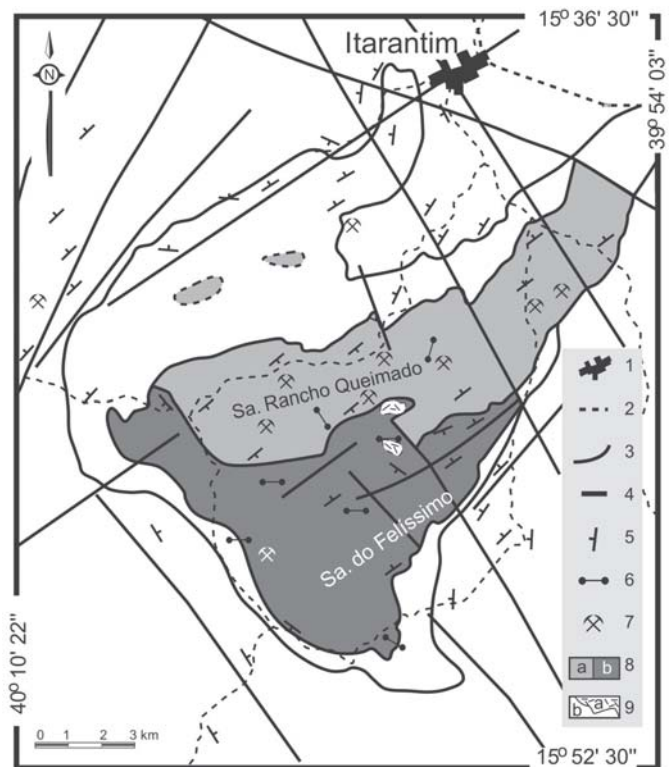


Figura 3 - Mapa geológico simplificado do Batólito Nefelina Sienítico Itarantim, modificado de Oliveira (2003). Cidade [1], estradas ou caminhos carroçáveis [2], contatos litológicos [3], falhas ou fraturas [4], atitude de foliação [5], diques [6], minas com exploração de rochas ornamentais [7], rochas nefelina-sieníticas do Batólito Itarantim [8: a = nefelina sienito com aegirina, Fácies Serra Rancho Queimado; b = biotita-nefelina sienito, Fácies Serra do Felíssimo], rochas do embasamento [9: a = transformadas em fenitos, b = gnaises sem alteração metassomática evidente].

podem conter mineralização em sodalita azul.

As rochas do embasamento, aparentemente não transformadas pelo processo metassomático, correspondem a gnaisses graníticos com biotita, com no mínimo duas fases de deformação. Elas contêm lentes de anfibolito, mármore e restos de complexo máfico-ultramáfico (Oliveira 2003). Nas proximidades do BNSI, as foliações regionais tendem a se mostrar arqueadas ou acomodadas à forma do maciço ou, ainda, truncadas pela direção da foliação magmática interna no BNSI. Os contatos entre as rochas ígneas e as metassomáticas são de difícil delimitação e foram estabelecidos pela integração de dados fotogeológicos e de campo, com controle petrográfico e dados geoquímicos (Oliveira 2003). Em geral, constata-se a obliteração progressiva da mineralogia, textura e estrutura metamórficas das rochas gnáissico-migmatíticas em direção às rochas ígneas do BNSI, chegando a formar fenitos isotrópicos com composição de sienitos alcalinos com aegirina e, mais raramente com nefelina. Evolução similar é descrita nos estudos experimentais de Preston *et al.* (2003), indicando ação progressiva de metassomatismo.

Na parte noroeste do BNSI a auréola de fenitos é bem mais desenvolvida que aquela do sudeste (Fig. 3). A identificação de sienitos magmáticos, correlacionáveis à Fácies Serra Rancho Queimado, no setor noroeste dos fenitos, fez Oliveira (2003) interpretar que o batólito tem continuidade em sub-superfície para noroeste.

Os sienitos magmáticos ocorrem como duas faixas paralelas e com direção NW-NE (Fig. 3). Na Fácies Serra Rancho Queimado dominam sienitos com aegirina-augita, enquanto a biotita é o máfico mais importante na Fácies Serra do Felíssimo.

A Fácies Serra Rancho Queimado (FSRQ) é composta, essencialmente, por sienitos com nefelina, de cor marrom escura, reflexo da coloração do feldspato alcalino, e com pontuações de cor verde limão presentes correspondem a cristais de nefelina. Os cristais de feldspato alcalino mostram-se fortemente alinhados (N 300°-320°/45°-60°), marcando a foliação de fluxo magmático (N 45°-35°/65°-74° SE). Xenólitos de rochas encaixantes são raros, tendo sido identificados dois grandes blocos de fenitos que exibem texturas exóticas, marcadas pelo aparecimento de grandes cristais poiquilobásticos (até 8 cm) de anfibólio em fraturas e distribuídos aleatoriamente. Na parte central desta fácies concentram-se várias pedreiras que exploram comercialmente este sienito (Fig. 3), sendo denominado de Marrom-Bahia, e cuja produção estimada é da ordem de 6000 m³/ano (Azevedo, 2002).

A Fácies Serra do Felíssimo (FSF) reúne sienitos alcalinos com nefelina de coloração clara, freqüentemente branca, textura fanerítica média, e com fluxo magmático menos expressivo que a FSRQ, mas com igual orientação. A cor branca da nefelina contrasta com aquela presente na FSRQ. Nestas rochas observam-se figuras de cisalhamento métricas, com movimento sinistral, orientadas NW-SE e, em algumas delas são visíveis indicadores cinemáticos de deslocamento de massa com vergência para NE, materializando, provavelmente, os efeitos da colisão brasileira Araçuá, situada a sudeste.

Cristais de sodalita azul foram identificados em sienitos em regiões localizadas na porção sudoeste da FSF. Diques de rochas máficas e fonolíticas são presentes com menor freqüência que na FSRQ. Por outro lado, pegmatitos alcalinos ocorrem mais abundantemente na FSF. Alguns deles exibem contatos nítidos, sugerindo colocação tardia e, outros, com contatos irregulares a difusos, indicam colocação precoce. A presença de cristais euédricos e centimétricos de zircão é comum nestes corpos e alguns com qualidade de gema. Rosa *et al.* (2004) obtiveram as idades Pb-Pb_{zircão}

de 720 ± 9 Ma e 732 ± 24 Ma, interpretadas como o intervalo de idades de cristalização destes diques.

Os estudos desenvolvidos pela Companhia Baiana de Pesquisa Mineral identificaram na Serra do Felíssimo a maior reserva brasileira (368 milhões de toneladas) de sienito com composição propícia para a sua utilização como fundente (Fe₂O₃ < 0,1%; Na₂O + K₂O > 14%; e Al₂O₃ > 21%) para as indústrias de cerâmica e vidro (Moreira, 2000).

MÉTODOS ANALÍTICOS Dentre as 80 amostras coletadas para estudos petrográficos selecionou-se 27 consideradas representativas das fácies ígneas, nas quais dosou-se os elementos maiores e alguns traços, inclusive os elementos terras raras (ETR), Cl, F, CO₂ e S. Estas análises químicas foram efetuadas nos laboratórios do Consórcio Geosol/Lakefield Ltda. Em cinco amostras selecionadas da FSRQ também foram dosados Sr, Rb, Sm e Nd por diluição isotópica. Nestas amostras determinaram-se igualmente as razões ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr, ¹⁴⁷Nd/¹⁴⁶Nd. Estas análises foram efetuadas no Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará. Maiores detalhes sobre a metodologia utilizada podem ser encontrados em Cruz Filho (2004).

PETROGRAFIA DAS ROCHAS ÍGNEAS Os minerais constituintes das fácies magmáticas do BNSI são predominantemente os mesmos. Diferem entre si pela dominância do mineral máfico (biotita ou aegirina-augita), pela cor dos cristais de nefelina e pelo volume de cristais antipertíticos. Estas rochas, em diagrama modal APF (Fig. 4), posicionam-se nos campos dos sienitos com feldspatóides e nefelina-sienitos.

Fácies Serra Rancho Queimado Nela dominam rochas aegirina-augita sienito alcalino com nefelina e ocasionalmente nefelina-sienitos. São rochas inequigranulares, com granulação variando de média a grossa, onde dominam feldspato alcalino pertítico. O caráter inequigranular é essencialmente controlado pelo tamanho dos cristais de feldspato alcalino (0,4-9,3 mm), que são subédricos, pertíticos e, ocasionalmente, apresentam-se geminados segundo a lei Carlsbad, existindo também cristais com geminação Albita-Periclina. As inclusões de minerais máficos distribuem-se nestes feldspatos aleatoriamente, exceto a biotita que tende a concentrar-

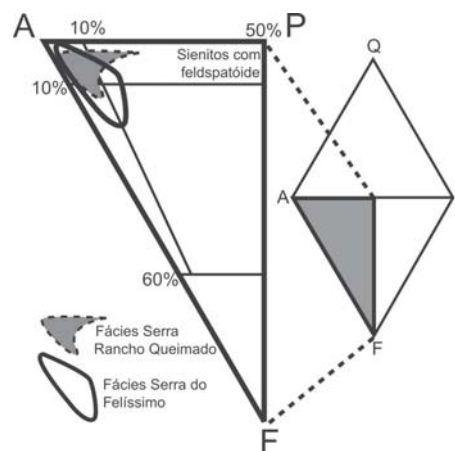


Figura 4 - Diagrama modal APF com as amostras do Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim. Feldspato alcalino [A], plagioclásio [P], feldspatóide [F] e quartzo [Q].

se próxima à periferia.

A nefelina ocorre como cristais anédricos e com tamanhos variando entre 0,15 mm e 3,8 mm, predominando aqueles com 0,7 mm. Ocupa os interstícios entre os prismas de feldspato alcalino, onde geralmente têm contatos irregulares e, por vezes, interpenetrantes. Apresenta-se parcialmente alterada para cancrinita, ou agregados com cancrinita e zeólitas, mostrando íntima associação com cristais de biotita e carbonato.

Os cristais de aegirina-augita são anédricos e variam de 0,5 mm a 3,8 mm, predominando os cristais com 1,9 mm. Eles comumente participam de agregados conjuntamente com a hornblenda, aegirina, biotita, minerais opacos e apatita. A aegirina-augita apresenta-se normalmente coroadada de forma descontínua por cristais anédricos de aegirina.

A biotita marrom ocorre como cristais anédricos a subédricos e variam de 0,07 mm até 3,8 mm, predominando os indivíduos com 0,5 mm. Em alguns cristais existem inclusões vermiculares de aegirina localizadas próximas à periferia. A hornblenda verde (0,6-2,6 mm) é subédrica e ocorre geralmente envolvida por cristais de biotita e tem como inclusões cristais de apatita, carbonato e opacos aciculares. Os minerais opacos (magnetita > ilmenita) são predominantemente anédricos e seus tamanhos estão compreendidos entre 0,07 mm e 2,9 mm. Alguns guardam inclusões de apatita. Como minerais acessórios tem-se apatita, carbonato, minerais opacos (magnetita >> ilmenita), pirita e ocasionalmente fluorita.

Fácies Serra do Felíssimo Nesta fácies dominam rochas com composições de biotita-sienito alcalino com nefelina e nefelina-sienito. A mineralogia dominante é constituída por feldspato alca-

lino (antipertítico > pertítico), biotita, aegirina, aegirina-augita, hornblenda e nefelina, tendo como acessórios minerais opacos, carbonato, titanita e apatita. A albita antipertítica (0,5-10 mm) é subédrica e anédrica. Os cristais de feldspato alcalino contêm grande número de inclusões (biotita aegirina-augita, apatita, carbonato e minerais opacos) distribuídas de forma aleatória.

Os minerais máficos presentes (biotita, hornblenda, aegirina-augita, opacos, titanita e aegirina) ocorrem de forma similar à FSRQ, em aglomerados, e são intersticiais aos prismas de feldspato alcalino. Destaca-se aqui o maior volume da biotita (até 10%). A hornblenda verde (0,4-4,6 mm) é subédrica e guarda inclusões de biotita, apatita, carbonato e minerais opacos.

A nefelina é anédrica varia entre 0,3 mm até 1,7 mm, predominando cristais com 0,7 mm. Eles normalmente ocupam a posição intersticial entre os cristais de feldspato alcalino, com os quais exibem contatos irregulares. Cristais anédricos de sodalita (0,1-0,3 mm) ocorrem de forma errática e intersticial em rochas da porção sudoeste desta fácies.

Pegmatitos Alcalinos Estes corpos apresentam sempre composições sieníticas, tendo-se identificado os tipos sodalita-nefelina-sienito, nefelina-sienito, biotita-nefelina-sienito, carbonato-nefelina-sienito e especularita-nefelina-sienito. Vênulas com carbonato são ocasionalmente presentes. Nos diques pegmatíticos de sodalita-nefelina-sienito, ao contrário do que normalmente ocorre nas rochas do BNSI, a sodalita é subédrica e as relações texturais sugerem tratar-se de sodalita cristalizada precocemente (Rosa et al. 2004). A calcita é um acessório constante, podendo atingir até 10% em volume, e os cristais de titanita e especularita atingem

Tabela 1 - Dados isotópicos Rb-Sr e Sm-Nd para as rochas do Batólito Nefelina-Sienito Itarantim.

Amostra	Rb (ppm)	Sr (ppm)	⁸⁷ Rb/ ⁸⁶ Sr	⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr	E _{Sr} (T=727 Ma)	(⁸⁷ Sr/ ⁸⁶ Sr) _i	Sm (ppm)	Nd (ppm)	¹⁴⁷ Sm/ ¹⁴⁴ Nd	¹⁴³ Nd/ ¹⁴⁴ Nd	E _{Nd} (T=727 Ma)	I _{Modelo} (Ma)
43	72,32	439	0,4771	0,70791	-9,84	0,7030	11,2	63,13	0,10724	0,51224	0,61	1,19
44-A	112	454	0,7125	0,71057	-6,76	0,7032	9,8	56,49	0,10486	0,51235	2,95	0,99
44-B	71	432	0,4759	0,70815	-6,26	0,7032	11,17	62,39	0,10825	0,51231	1,79	1,08
45	54,44	613	0,2568	0,70577	-7,76	0,7031	7,87	43,36	0,09650	0,51232	1,81	1,08
98-A	106	561	0,5466	0,70855	-10,9	0,7029	7,5	42,11	0,10774	0,51226	0,90	1,14

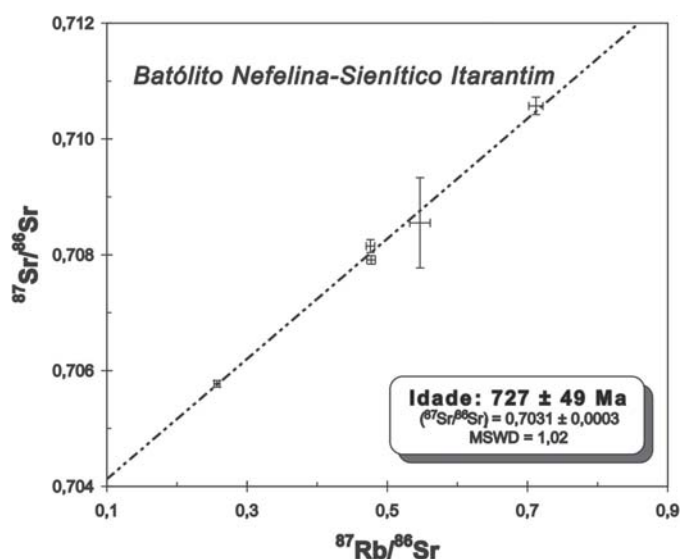


Figura 5 - Diagrama isocrônico Rb-Sr em rocha total para as rochas do Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim.

tamanhos de até 2 cm. Os cristais de zircão foram classificados segundo a terminologia de Pupin (1980), tendo-se identificado os tipos D e K1, com dominância do tipo D, característicos de rochas sieníticas sub-saturadas.

GEOCROLOGIA Rb-Sr EM ROCHA TOTAL Cinco amostras de nefelina-sienito, sem transformações hidrotermais, provenientes da Fácies Serra Rancho Queimado, foram analisadas para a determinação da idade (Tab. 1). Utilizando-se o programa Isoplot (Ludwing 2001) foi calculada para este batólito a idade de 727 ± 49 Ma (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr_{inicial} = 0,7031 ± 0,0003, MSWD = 1,02, Fig. 5). Esta idade é interpretada como a de cristalização do BNSI.

GEOQUÍMICA Os resultados analíticos de amostras representativas estão apresentados nas tabelas 2 e 3. No diagrama TAS as rochas deste batólito situam-se no campo dos sienitos e nefelina-sienitos, sub-saturados em SiO₂ (Fig. 6).

Elementos Maiores A variação de SiO₂ nas rochas do BNSI é relativamente estreita, estando compreendida entre 53 e 62%. As razões Na₂O/K₂O situam-se entre 1,8 e 0,7 e as de Si/Al entre 4 e 6. Este batólito é constituído por rochas alcalinas metaluminosas

Tabela 2 - Resultados químicos de elementos maiores e alguns traços de amostras representativas do Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim. Fácies Rancho Queimado (FSRQ), Fácies Serra do Felíssimo (FSF), diques pegmatíticos portadores de sodalita azul na Fácies Serra do Felíssimo (D). Na₂O/K₂O em % em peso. Elemento não determinado (nd).

Amostra	2021	1991	2022	2035	2034	1992	2045	2033	2032	1982	1990	2008	2042
Fácies	D-FSF	FSRQ	FSF	D-FSF	D-FSF	FSRQ	FSRQ	FSF	FSF	FSRQ	FSRQ	FSRQ	FSRQ
SiO ₂	53,6	54,3	54,5	55,6	56	56,4	56,5	56,5	56,6	57	57	57,4	57,5
TiO ₂	0,26	1,9	1,4	0,24	0,35	1,4	1,4	1,3	0,21	1,3	1,5	1,1	1,3
Al ₂ O ₃	21,4	15,6	18,6	21,6	21,2	16,8	17,5	18,9	21,6	17,2	17,7	18,2	17
Fe ₂ O ₃	1,3	2,5	2,9	2,3	2,3	1,9	4,4	2,1	0,86	1,5	2,5	1,7	3,5
FeO	2,8	7	3,7	2,3	2,4	5,8	2,6	3,7	1,1	5,4	5,3	4,7	3,3
MnO	0,33	0,33	0,18	0,56	0,67	0,26	0,27	1,6	0,14	0,24	0,22	0,19	0,23
MgO	0,18	1,6	1,7	0,21	0,24	1,2	1,2	0,15	0,07	1,1	0,59	1,1	1,2
CaO	1,1	4,4	4,8	1,1	1,9	3,8	3,4	4,2	5,5	3	1,8	3,3	3,5
Na ₂ O	9,6	5,5	6	8,1	6,9	5,8	6	5,6	6	6,3	5,9	6,8	6,2
K ₂ O	5,9	4,5	3,2	5	4,7	4,5	4,1	3,2	3,9	5,3	5,6	4,2	4,6
P ₂ O ₅	0,08	0,92	0,68	0,01	0,18	0,69	0,68	0,61	0,05	0,37	0,38	0,54	0,58
H ₂ O(+)	0,66	0,37	0,49	0,74	1,3	0,37	nd	0,78	2,21	0,67	0,8	0,57	nd
H ₂ O-	0,32	0,28	0	0,25	0,5	0,65	nd	0,01	0,18	0,3	0,36	0,76	nd
CO ₂	0,82	0,3	0,62	2,91	1,39	0,24	nd	0,79	1,08	0,28	0,33	0,28	nd
F	0,06	0,12	0,07	0,12	0,11	0,09	0,09	0,07	0,02	0,07	0,08	0,11	0,1
Total	98,41	99,62	98,84	101,04	100,14	99,90	98,14	99,51	99,52	100,03	100,06	100,95	99,01
Ba	500	1415	>5000	643	703	1269	1487	5750	2098	2028	628	1422	1527
Rb	389	89	6	327	260	115	58	<5	162	55	100	89	119
Sr	181	351	2408	295	476	323	374	2235	1909	495	138	346	490
Ga	36	40	19	52	45	43	29	18	36	31	32	35	40
Ta	11	30	<5	169	51	34	13	<5	25	<5	<5	<5	<5
Nb	161	147	38	1372	483	210	116	32	291	99	74	91	185
Hf	25	15	<8	141	55	12	13	<8	11	12	<8	11	20
Zr	1008	516	186	>5000	2154	597	427	159	416	392	166	377	798
Y	50	51	26	71	105	72	65	23	33	49	26	41	53
Th	22	<5	<5	117	78	27	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
U	<10	<10	<10	74	26	<10	<10	<10	12	<10	<10	<10	<10
Cr	nd	9	4	nd	nd	9	6	nd	nd	7	6	8	7
Ni	nd	8	3	nd	nd	5	3	nd	nd	5	2	3	2
Co	5	4	5	7	8	3	7	5	6	7	6	6	7
Sc	nd	<10	<10	nd	nd	<10	<10	nd	nd	<10	<10	<10	<10
V	nd	<8	37	nd	nd	8	13	nd	nd	21	13	<8	<8
Cu	5	9	6	6	6	9	9	4	5	8	5	7	6
Pb	5	<5	6	22	22	<5	<5	<5	13	<5	<5	<5	<5
Zn	nd	139	71	nd	nd	183	174	nd	nd	128	109	95	113
Sn	nd	18	<5	nd	nd	56	7	nd	nd	<5	<5	<5	14
W	nd	11	<10	nd	nd	50	25	nd	nd	15	<10	20	18
Cl	>5000	350	269	5000	>5000	672	391	267	154	405	34	444	619
S	86	408	414	82	89	419	706	287	106	609	<50	357	335

que mostram evolução para tipos peraluminosos (Fig. 7). Este fato se traduz pela presença de coríndon normativo (até 1,2%) e o índice albitico situa-se entre 1,0 e 1,3, caracterizando afinidade miasquítica. Estas rochas posicionam-se no campo da nefelina, nas proximidades do mínimo fonolítico no diagrama SiO₂-Ne-Ks (não apresentado), traduzindo seus elevados graus de fracionamento. Por outro lado, as rochas das fácies FSRQ e FSF apresentam conteúdos de nefelina normativa entre 1 e 8% e nos diques os valores situam-se entre 8% e 31% em volume, revelando o enriquecimento em Na₂O e caráter fortemente evoluído.

Em diagramas Óxidos-SiO₂, as rochas do BNSI (Fig. 8) mostram evolução com aumento contínuo em Al₂O₃ e Na₂O, decréscimo em TiO₂, CaO, MgO, FeO* e P₂O₅, marcada por uma inflexão na curva a 62% SiO₂, que pode refletir a mudança na paragênese fracionada durante o processo de cristalização, a atuação de processo envolvendo participação de fluídos, ou ainda, a combinação de ambos os processos. Na primeira etapa desta evolução tem-se o aumento de SiO₂ na FSRQ e sua diminuição nas rochas da FSF e nos diques. Neste contexto, os altos conteúdos em CO₂

(Fig. 8), Cl (>5.000 ppm) e F (até 1200 ppm) nos diques, assim como o seu posicionamento no extremo da evolução observada em vários dos diagramas, após as rochas da FSF, são interpretados como o sentido da diferenciação.

Os elevados conteúdos de CO₂ nos diques são explicados por Rosa *et al.* (2004) como devido à presença de fase fluída rica em CO₂, responsável pela formação de carbonato e cancrinita. Comportamento similar é descrito por Cunha (2003) ao estudar sítios mineralizados em sodalita azul no Maciço Nefelina-Sienítico Rio Pardo e no Complexo Alcalino Floresta Azul.

Elementos-Traço A disposição dos elementos-traço das rochas do BNSI em diagramas com SiO₂ não apresenta evolução tão evidente quando comparada àquela identificada para os elementos maiores. Todavia, os baixos conteúdos de Ni (2-8 ppm), Cr (4-11 ppm), Co (<10 ppm) e V (<30 ppm) traduzem o comportamento compatível destes elementos durante a evolução precoce do magma e a natureza evoluída das rochas estudadas. O Ba, Sr e Ga apresentam tendência de correlação linear com o SiO₂ (não apresentada),

Tabela 2 - continuação

Amostra	2030	2044	1994	2041	2043	2006	2003	1996	2011	2010	2004	2023	2012	2015
Fácies	D-FSF	FSRQ	FSF	FSRQ	FSRQ	FSRQ	FSRQ	FSF	FSRQ	FSRQ	FSRQ	FSF	FSF	FSF
SiO ₂	57,6	58	58	58,5	58,9	59	59,3	59,3	59,7	59,9	60,3	60,6	61	61,1
TiO ₂	0,16	1,5	0,66	1,2	0,92	0,85	1,2	0,88	1,1	0,56	0,71	0,57	0,69	0,71
Al ₂ O ₃	23,5	17,4	20,1	18,1	18,4	17,5	17,2	18,4	17,5	20	18	19,2	18,2	18,7
Fe ₂ O ₃	1,7	4,6	0,8	2,8	2,8	2,1	4,3	1,4	2,1	0,49	2,2	0,32	1	1,4
FeO	0,57	3	3	3,6	2,6	3,6	2,7	3,7	3,6	2,8	3,3	3,7	3,1	3
MnO	0,12	0,25	0,13	0,23	0,18	0,18	0,31	0,16	0,17	0,11	0,19	0,13	0,16	0,13
MgO	0,09	1,2	0,78	1,1	0,96	0,88	0,7	1	1,1	0,58	0,7	0,61	0,69	0,64
CaO	0,87	3,6	2,3	3,2	2,6	2,5	1,7	1,5	2,5	1,3	2,1	1,9	1,1	1,3
Na ₂ O	9,4	6	7,7	6,4	7,4	6,6	5,9	5,7	6,1	7,5	6,5	7	6,1	6,2
K ₂ O	5,1	4,6	4,9	4,7	4,9	5,3	5,8	6,1	4,8	5,6	5,4	5,1	6,3	5,7
P ₂ O ₅	0,02	0,6	0,26	0,56	0,34	0,3	0,26	0,29	0,4	0,24	0,31	0,18	0,24	0,26
H ₂ O(+)	0,49	nd	0,43	0,79	nd	0,51	0,49	0,83	0,53	0,48	0,54	0,53	0,52	0,48
H ₂ O-	0,14	nd	0,4	nd	nd	0,26	0	0	0	0,48	0	0	0,38	0,67
CO ₂	1,51	nd	0,3	1,14	nd	0,24	0,18	0,2	0,63	0,51	<0,10	0,32	0,43	0,01
F	0,01	0,08	0,08	nd	0,08	0,1	0,03	0,08	0,08	0,07	0,05	0,08	0,07	0,07
Total	101,28	100,83	99,84	102,32	100,08	99,92	100,07	99,54	100,31	100,62	100,30	100,24	99,98	100,37
Ba	787	2660	2302	2120	3490	1859	1941	2780	1700	1902	2870	2260	2520	3620
Rb	247	73	93	122	73	73	59	72	96	54	34	98	95	65
Sr	252	952	1058	672	770	535	520	519	512	488	708	725	538	681
Ga	49	32	23	34	28	36	33	17	35	30	29	40	21	22
Ta	10	<5	11	<5	8	<5	<5	6	<5	<5	5	<5	<5	17
Nb	355	149	121	74	108	109	98	105	162	98	71	160	136	87
Hf	35	15	<8	<8	<8	10	10	<8	17	10	<8	28	<8	<8
Zr	1341	666	320	201	280	426	403	162	585	406	217	1103	258	228
Y	39	51	27	28	49	46	47	55	51	51	40	41	34	28
Th	42	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
U	25	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Cr	nd	8	8	7	5	11	7	6	7	5	6	4	5	7
Ni	nd	2	4	5	3	7	6	4	6	4	5	3	4	3
Co	6	9	5	5	5	35	17	5	19	22	18	6	7	2
Sc	nd	<10	<10	<10	<10	<10	nd	<10	nd	nd	nd	<10	<10	<10
V	nd	25	<8	<8	<8	8	27	17	13	19	25	<8	<8	<8
Cu	7	8	7	6	6	7	7	6	6	8	8	5	6	5
Pb	5	<5	<5	<5	<5	7	nd	<5	nd	nd	nd	<5	<5	<5
Zn	nd	104	36	49	87	135	nd	55	nd	nd	nd	74	61	62
Sn	nd	<5	<5	<5	<5	<5	<5	9	<5	6	<5	<5	<5	<5
W	nd	18	21	15	10	351	341	<10	403	481	281	<10	<10	27
Cl	>5000	610	728	373	145	327	644	201	426	542	252	457	78	<20
S	131	414	177	95	428	118	602	172	308	658	206	234	79	128

apontando para o comportamento compatível destes elementos, uma vez que os seus conteúdos mais baixos são encontrados nos diques diferenciados alcalinos. O Rb nos nefelina-sieníticos variam de 30 a 125 ppm, e nos diques alcalinos está compreendido entre 162 e 380 ppm, confirmando o maior grau de evolução destas rochas. S, F e Cl mostram valores variáveis nas rochas estudadas. Ressalta-se que são as rochas com mais de 700 ppm de Cl as que apresentam sodalita.

Os conteúdos médios de Zr, Hf, Nb e Y são relativamente elevados e compatíveis com a natureza alcalina e anorogênica destas rochas (Tab. 2). Todavia, nos diques alcalinos os conteúdos em ppm são muito elevados para o Zr (até 5100), Nb (até 1372), Ta (até 169), Hf (até 141), Th (até 117), Y (até 105), U (até 74) e Pb (até 22), apontando para o caráter incompatível destes elementos na evolução das rochas do BNSI.

As rochas estudadas apresentam espectros de ETR com grau de fracionamento variável ($33 < [La/Yb]_N < 176$) e com anomalia positiva em Eu (1,1-2,5). Os espectros das rochas das FSRQ e FSF mostram geometrias muito semelhantes (Fig. 9), assegurando a cogeneticidade. Eles exibem anomalias positivas em Eu sugerindo acumulação de feldspato (Fig. 9). Por outro lado, as rochas dos diques têm razões $(La/Yb)_N$ entre 26 e 44 e anomalias negativas em Eu (0,49-0,61), apontando para a existência de fracionamento de

Tabela 3 - Resultados de análises dos Elementos Terras Raras para amostras representativas do Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim. Fácies Rancho Queimado (FSRQ), Fácies Serra do Felíssimo (FSF), diques pegmatíticos portadores de sodalita azul na Fácies Serra do Felíssimo (Diques).

Amostra	2021	2022	2035	2034	2045	1990	2044	1994	2003
Fácies	D-FSF	FSF	D-FSF	D-FSF	FSRQ	FSRQ	FSRQ	FSF	FSRQ
La	34,37	35,44	73,42	109,2	64,13	25,6	40,08	37,62	33,84
Ce	69,19	68,8	155,2	210,2	114	49,61	75,05	65,55	61,51
Nd	21,21	28,4	49,49	68,61	35,53	17,4	25,83	20,11	28,72
Sm	4,156	5,607	9,849	14,8	6,317	3,39	4,621	3,494	4,048
Eu	0,723	3,859	1,503	2,187	1,805	1,499	2,572	1,3	1,8
Gd	2,893	3,808	6,58	11,55	3,619	2,278	3,029	2,345	2,909
Dy	1,936	2,002	4,698	8,5	1,514	1,036	1,661	1,127	1,484
Ho	0,388	0,385	0,823	1,609	0,268	0,184	0,241	0,201	0,276
Er	0,891	0,761	1,705	4,086	0,485	0,336	0,507	0,404	0,577
Yb	0,63	0,482	1,109	2,773	0,261	0,214	0,372	0,286	0,433
Lu	0,113	0,097	0,151	0,369	0,058	0,057	0,058	0,134	0,069
ΣETR	136,5	149,64	304,53	433,88	227,99	101,6	154,02	132,57	135,67
La _N /Yb _N	36,89	52,74	44,77	26,63	176,25	85,81	77,28	94,35	56,06
Eu/Eu*	0,61	2,41	0,54	0,49	1,06	1,56	1,97	1,31	1,53

feldspato.

A normalização das amostras do BNSI pelo manto primitivo (Fig. 10) mostra um vale pronunciado em K e ocasional em Sr. Ao

comparar as rochas da fácies menos evoluída, FSRQ, com as curvas do MORB, OIB e Crosta Continental, evidencia-se que a geometria das curvas das rochas da FSRQ assemelha-se àquela do OIB, sendo, contudo, mais enriquecida para a maioria dos elementos considerados. As rochas da FSF diferenciam-se da FSRQ pela presença de picos no Sr e a presença de vales ocasionais no P,

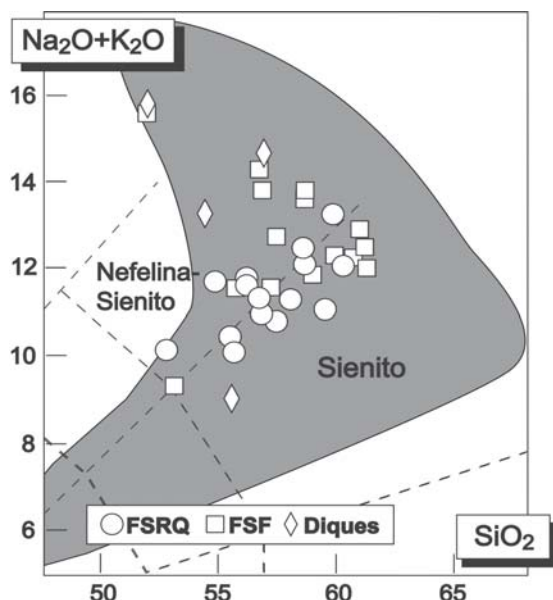


Figura 6 - Diagrama TAS (total de álcalis versus SiO_2), em base anídria, Le Maître et al. (2002), com os campos para rochas plutônicas de acordo com Middlemost (1994). A área demarcada em cinza apresenta a evolução química dos maciços sub-saturados em sílica da PASEBA.

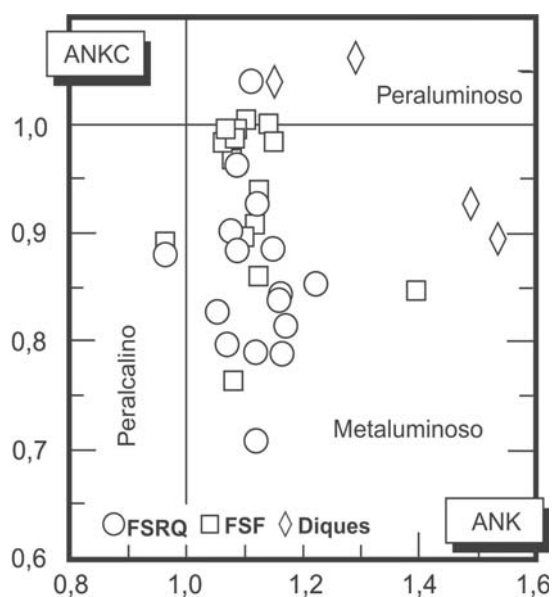


Figura 7 - Diagrama ANKC $[\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}+\text{CaO})]$ versus ANK $(\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}))$, em moles. Rochas sieníticas da Fácies Rancho Queimado (FRQ), Fácies Serra do Felíssimo (FSF) e diques da FSF (Diques).

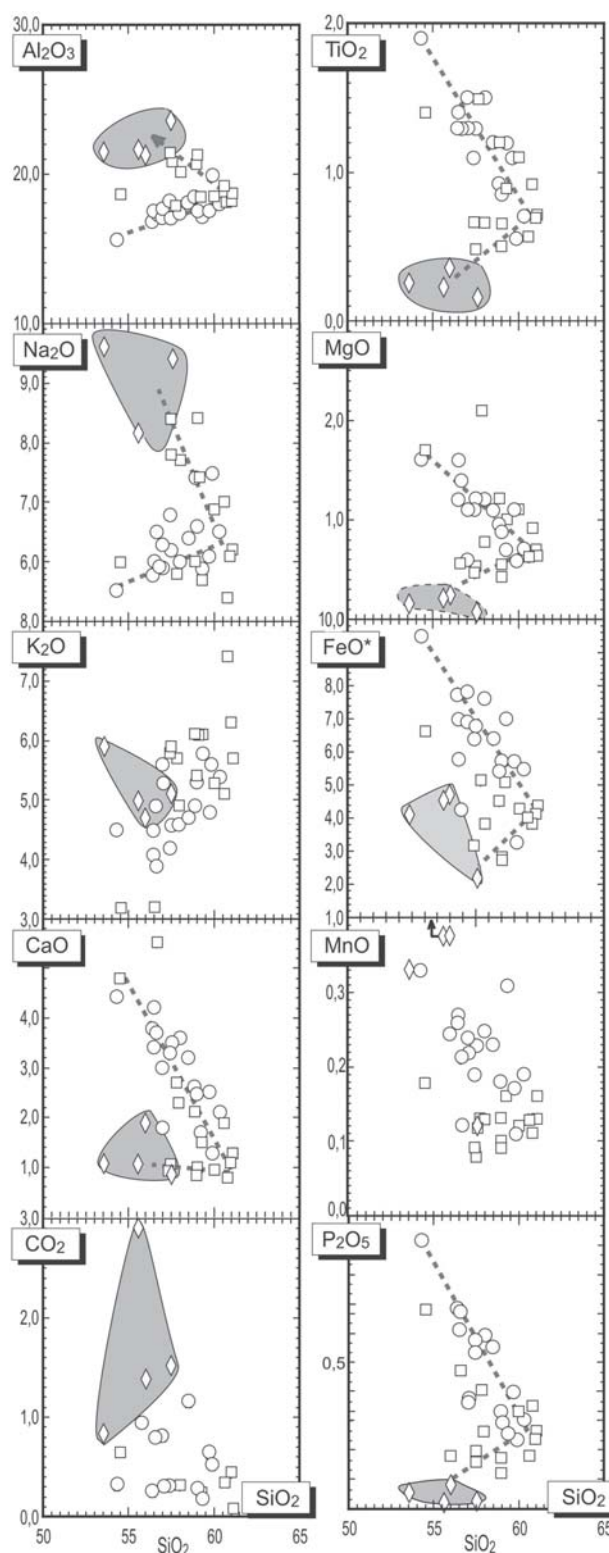


Figura 8 - Diagramas Óxidos- SiO_2 aplicado às rochas do Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim. Círculos = rochas da Fácies Serra do Rancho Queimado, quadrados = rochas da Fácies Serra do Felíssimo, e os losângulos e áreas em cinza = diques alcalinos da Fácies Serra do Felíssimo.

podendo refletir efeitos do fracionamento. As curvas obtidas para os diques mostram pronunciados vales no Ba, K, P e Ti e um forte enriquecimento em Ta, Nb, Hf, Zr e Pb que devem conjuntamente refletir os efeitos do fracionamento e a ação de fluidos ricos em carbonato e cloreto.

Diferenciação Magmática Os dados geológicos e petrográficos obtidos das rochas do BNSI sugerem que a FSRQ seja menos diferenciada por apresentar cristalização precoce de aegirina-augita, dominância de feldspato alcalino peritítico, menor volume de nefelina, albita antipertítica e biotita. Os dados químicos de amostras deste batólito são a favor desta hipótese e se expressam pelos maiores conteúdos na FSRQ em MgO, FeO*, TiO₂ e P₂O₅, que decrescem com o aumento do SiO₂. A simulação da cristalização para as rochas da FRQ foi efetuada pelo método de regressão linear, com, utilizando-se da amostra 1991 (54,3% SiO₂), como magma, objetivando-se gerar a rocha 2004 (60,3% SiO₂, Tab. 4). Os cálculos foram efetuados com as diferentes paragêneses, reunindo os minerais identificados nas rochas (óxido Fe-Ti, anfibólio, piroxênio, biotita, feldspatos alcalinos e apatita). As várias simulações realizadas para o processo de cristalização fracionada evidenciaram ser possível gerar a rocha 2004 obtendo-se baixo resíduo (0,8) e taxa de cristalização realística (32%). O cumulado formado nestes cálculos corresponde à rocha mesocrática (Tab. 4).

O comportamento particular apresentado pelas rochas da FSF e dos diques, que têm evolução marcada pelo decréscimo de SiO₂, acompanhada pelo aumento de Al₂O₃ e Na₂O, forte enriquecimento em vários dos elementos-traço usualmente incompatíveis e em voláteis (CO₂, F, Cl), impede simular de maneira conveniente o processo de cristalização fracionada. Vários autores têm chamado a atenção para o fato que muitos magmas alcalinos silicatados são enriquecidos em fluidos (particularmente CO₂, F e Cl). Nestes casos, o processo de cristalização em equilíbrio pode tornar-se complexo quando existe flutuação da pressão de fluidos (p.ex. Korobeinikov *et al.* 2000) ou se processa em sistema aberto (p.ex. Bailey & Hampton 1990). A presença de importante auréola de fenitos no BNSI evidencia perda de fluidos, indicando que, ao menos, parte da cristalização das rochas neste batólito processou-se em sistema aberto, implicando, portanto, em variação da pressão parcial de fluidos.

Composições Isotópicas de Sr e Nd Utilizou-se a idade de 727 Ma, obtida pelo método Rb-Sr (neste trabalho), para os cálculos das razões isotópicas iniciais do Sr e Nd, assim como valores de ϵ_{Nd} e $^{87}Sr/^{86}Sr_{inicial}$ (Tabela 1). Os valores de λ_{NdT} (0,6 a 3,0) e λ_{SrT} (-11 a -6) obtidos exibem estreita variação e aloca as rochas estudadas no campo do manto empobrecido (*mantle array*). A ausência de correlação entre SiO₂ e MgO com $^{87}Sr/^{86}Sr_{inicial}$ (não apresentados) apontam para uma evolução sem importante contribuição de contaminação de material crustal.

As idades modelo T_{DM} obtidas para as rochas do BNSI situam-se entre 1,0 e 1,2 Ga. Elas superpõem-se àquelas obtidas por René *et al.* (1990) para os diques máficos toleióticos que ocorrem no município de Itabuna. Heilbron *et al.* (2004) admitem que a idade 1,0 Ga corresponde à instalação da bacia precursora do Orógeno Araçuai que se inicia por fraturamento acompanhado de magma máfico.

DISCUSSÃO Os dados geocronológicos obtidos neste trabalho forneceram a idade Rb-Sr, em rocha total, para a cristalização do BNSI de 727 ± 49 Ma. Rosa *et al.* (2004) obtêm idades Pb-Pb_{zircão}

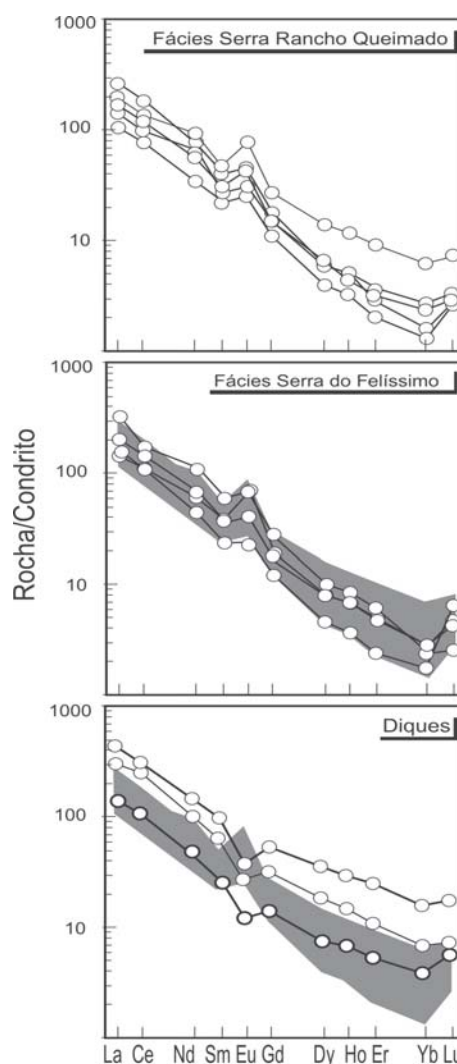


Figura 9 - Diagrama multielementar com os Elementos Terras Raras normalizados pelo condrito C1 (Evensen *et al.* 1978) aplicado as rochas do Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim.

de 720 ± 9 Ma e 732 ± 24 Ma para diques mineralizados em sodalita deste batólito. A idade Rb-Sr tem um erro mais elevado (49 Ma) que as Pb-Pb em zircão, refletindo, provavelmente, a pouca dispersão das razões isotópicas obtidas nas rochas analisadas. De qualquer maneira, ela situa-se no intervalo das idades Pb-Pb, indicando que este corpo alcalino é o primeiro a se colocar nesta província. Por outro lado, as idades K-Ar e Ar-Ar em minerais obtidas por Cordani *et al.* (1974) e Bernat *et al.* (1977), para as rochas do BNSI concentram-se entre 546 ± 22 Ma e 526 ± 28 Ma, superpondo-se, portanto, ao clímax da Colisão Araçuai (550 Ma, Pedrosa-Soares *et al.* 2001) e cujos terrenos metamórficos situam-se a menos de 10 km a oeste deste batólito alcalino. Estes dados associados à existência de cisalhamentos no BNSI, com deslocamento de massa de sudoeste para nordeste, refletem os efeitos da colisão brasileira Araçuai no batólito estudado.

O posicionamento das rochas do BNSI no campo do manto empobrecido aponta que o magma responsável pela cristalização das rochas em estudo tenha sido gerado por fusão parcial mantélica. Por outro lado, o caráter sub-saturado destes sienitos,

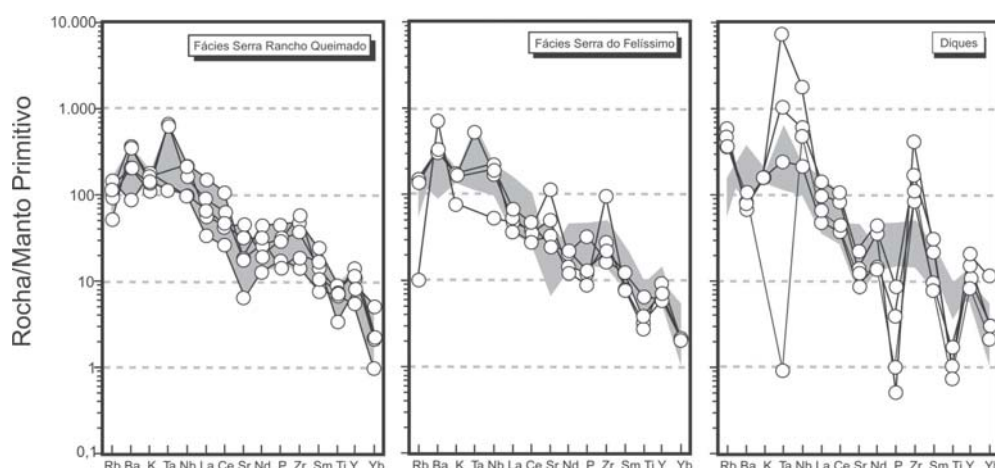


Figura 10 - Diagrama multielementar aplicado às rochas do Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim, normalizado pelo manto primitivo (McDonough et al. 1991).

Tabela 4 - A composição dos minerais, exceto a da apatita que corresponde à sua composição estequiométrica, foram obtidas na amostra 1991 por microsonda eletrônica, no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Os valores do resíduo, taxa de cristalização e as composições química e mineralógica (% em peso) do cumulado obtidas nos cálculos de regressão linear, utilizando-se do programa Gênesis (Teixeira 1997), são igualmente apresentados.

	Biotita	Albita	Anfibólio	Clinopiroxênio	Apatita	Cumulado
SiO ₂	36,22	67,28	38,22	49,62		49,24
TiO ₂	2,45		1,60	0,37		0,73
Al ₂ O ₃	13,41	20,24	11,75	1,95		11,06
FeO	24,70	0,10	25,87	19,98		19,22
MnO	0,82	0,01	0,90	1,03		0,28
MgO	9,15		3,44	4,09		3,84
CaO	0,02	1,20	8,96	17,66	55,88	8,83
Na ₂ O	0,07	11,40	2,83	2,8		3,71
K ₂ O	9,74	0,09	2,02			2,50
P ₂ O ₅					42,00	0,59
Resíduo						0,814
Taxa Cristalização						32,81

seus elevados conteúdos em elementos incompatíveis em magmas básicos usuais, e a ausência de evidências isotópicas importantes de contaminação crustal, permitem advogar que as assinaturas geoquímicas das rochas menos evoluídas do BNSI expressem o resultado do processo de cristalização fracionada e a natureza da fonte geradora deste magma. Neste contexto, observa-se a semelhança entre a curva média obtida para amostras menos evoluídas do BNSI, normalizadas pelo manto primitivo, com a curva do OIB (Fig. 11). As idades TDM de 1,1-1,0 Ga obtidas para estas rochas do BNSI sugerem que a fusão mantélica responsável pela geração do magma Itarantim tenha ocorrido quando do evento distensivo responsável pelo fraturamento crustal e colocação de magmas máficos toleíticos na área da PASEBA.

A existência de período distensivo precedente à Orogênese Araçuai é aceita por diversos autores (p.ex. Pedreira et al. 1995, Heilbron et al. 2004). Ele se materializa pela existência de enxames de diques máficos toleíticos (1,1-0,9 Ga, René et al. 1990) e pela instalação da Bacia Rio Pardo, de idade mínima de 623 Ma (Pedreira 1999) na região cratônica no sul da Bahia. Na região do Orógeno Araçuai o período distensivo é evidenciado pela presença de ortofibrolitos de afinidade toleítica (816 Ma, Pedrosa-Soares et al.

2001) e intrusão de granitogênese anorogênica (875 ± 9 Ma, Silva et al. 2004). No Cráton do Congo, em sua faixa ocidental, que representa a continuidade dos terrenos da Faixa Araçuai, as evidências de período distensivo são marcadas pela presença do magmatismo alcalino (plutonismo, 999 ± 7 Ma; vulcanismo, 920-912 Ma; Tack et al. 2001), e intrusões carbonatíticas (940-780 Ma, Kampunzu et al. 1998; 837 ± 60 Ma, Buhn et al. 2001).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Batólito Nefelina-Sienítico Itarantim é uma intrusão singular na Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia seja, por sua localização, no extremo sul desta província, por suas dimensões (230 km²), pela dominância de nefelina-sieníticos, pela expressão das transformações metassomáticas nas rochas encaixantes, ou, ainda, por sua importância econômica (rochas ornamentais e sienitos com composições propícias para utilização como fundente nas indústrias de cerâmica e vidro). Por outro lado, as idades obtidas para este batólito indicam que sua cristalização processou-se entre 727 ± 49 Ma e 732 ± 24 Ma, indicando que as intrusões dos magmas na PASEBA processaram-se de sul para norte. Esta idade e a existência de cisalhamento com deslocamento de massa para nordeste tradu-

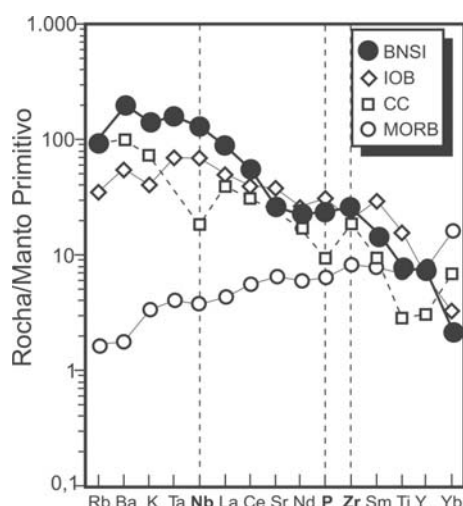


Figura 11 - Diagrama multielementar normalizado pelo Manto Primitivo (McDonough et al. 1991) apresentando a média das rochas da Fácies Rancho Queimado (BNSI) e as composições dos Basaltos de Ilhas Oceânicas (OIB), Crosta Continental (CC) e Basaltos de Cadeia Meso-Oceânica (MORB) são aquelas apresentadas por Rollinson (1993).

zem neste batólito os efeitos da colisão Araçuá ocorrida a 550 Ma.

O magma Itarantim tem assinatura OIB e sua evolução foi controlada inicialmente por cristalização fracionada em condições próximas do equilíbrio, gerando a Fácies Serra Rancho Queimado. A Fácies Serra do Felíssimo representa, provavelmente, cristalização fracionada complexa, em sistema aberto e sob ação de fluidos peralcalinos, quando se formaram as rochas mais sub-saturadas em SiO_2 e os diques mineralizados em sodalita, revelando aumento nas frações molares de cloreto nas etapas finais de sua evolução magmática. As idades modelo T_{DM} (1,0 a 1,2 Ga) do batólito limitam-se a um intervalo estreito e coincidem com a colocação de magmas toleíticos na região norte da PASEBA. Este fato permite inferir que a extração do magma Itarantim do manto coincide com o período distensivo. Neste contexto, a Província Alcalina do Sul do Estado da Bahia pode representar a expressão de magmatismo rifte, mais provavelmente pela existência de sedimentação associada e condicionamento por geossutura, ou, alternativamente, de pluma mantélica. De qualquer forma, esta província alcalina testemunha a existência de tectônica distensiva neste setor do Cráton do São Francisco, durante o Neoproterozóico (~730 Ma).

Agradecimentos Ao apoio do PRONEX-2003 (CNPq-FAPESB), Edital Universal CNPq-2002 (Processo 471445/03-7) e da Companhia Baiana de Pesquisa Mineral (Convênio nº 1460 CBPM/UFBA/FAPEX). MLSR agradece à equipe do Pará-Iso, pela acolhida durante seu estágio neste laboratório no ano de 2004, e ao CNPq pela bolsa de DCR (Proc. 303581/03-4). HC ao CNPq pela bolsa de pesquisa (Proc. 550483/02-0). Esta é a contribuição de número 181-2005 do Laboratório de Petrologia Aplicada à Pesquisa Mineral da UFBA. Aos revisores da RBG pelas sugestões ao manuscrito.

Referências

Almeida F.F.M, Brito Neves B.B, Carneiro C.D.R. 2000. The origin and evolution of the South American Platform. *Earth Sci. Rev.*, **50**:77-111.

Arcanjo J.B.A. 1993. *Folha Itabuna*. Brasília, MME-SMM-CPRM, Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, 228 p.

Bailey D.K. & Hampton C.M. 1990. Volatiles in alkaline magmatism. *Lithos*, **26**:157-165.

Bernat M., Cordani U.G., Kawashita K. 1977. Ages $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ des massifs alcalins du sud de l'État de Bahia, Brésil. *Cashiers ORSTOM, Série Géologie*, **9**:35-43.

Brito Neves B.B., Cordani U.G., Torquato J.R.F. 1980. Evolução geocronológica do Pré-Cambriano do Estado da Bahia. In: Inda H.A.V. & Duarte F.B., *Geologia e Recursos Minerais do Estado da Bahia, Textos Básicos*, SME-CPM, **3**:1-80.

Buh B., Dorr W., Brauns C.M. 2001. Petrology and age of the Otjisazu Carbonatite Complex, Namíbia: implications for the pré- and synorogenic Damaran evolution. *J. African. Earth Sci.*, **32**:1-17.

Azevedo H.C.A 2002. Catálogo das Rochas Ornamentais da Bahia, CD-Rom.

Conceição H. 1990. *Pétrologie du massif syénitique d'Itiúba: contribution à l'étude minéralogique des roches alcalines dans l'État de Bahia (Brésil)*. Tese de Doutorado, Université Paris-Sud, Centre d'Orsay-France, 395 p.

Conceição, H., Arcanjo, J.B.A., Oliveira, J.E. 1992. Província Alcalina do Sul da Bahia: reflexões sobre o estado do conhecimento. In: SBG Cong. Bras. Geol., **37**, São Paulo, *Boletim de Resumos Expandidos*, **2**:84-85.

Cordani U.G., Bernat M., Teixeira W., Kawashita H. 1974. Idades radiométricas das rochas alcalinas do Sul do Estado da Bahia. In: SBG Cong. Bras. Geol., **27**, Porto Alegre, *Anais*, **6**:253-259.

Cordani U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. 2000. Tectonic Evolution of South América. 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro. 854 p.

Corrêa-Gomes L.C. & Oliveira, E.P. 2002. Dados Sm-Nd, Ar-Ar e Pb-Pb de corpos plutônicos no sudoeste da Bahia, Brasil: implicações para o entendimento da evolução tectônica no limite Orogenia Araçuá – Cráton do São Francisco. *Rev. Bras. Geoc.*, **32**:185-196.

Cruz Filho B.E. (2004) *Magmatismo thondhjêmico paeoproterozóico no Núcleo Serrinha (Leste da Bahia): Batólito de Nordestina*. Tese de Doutorado, IG/UFBA, 144 p.

Cunha M.P., 2003. *Litogeoquímica dos Sítios Mineralizados em Sodalita Azul do Maciço Rio Pardo e do Complexo Floresta Azul, Bahia*. Dissertação de Mestrado, IG/UFBA, 88 p.

Evensen N.M., Hamilton P.J., O'Nions R.K. 1978. Rare earth abundances in chondrite meteorites. *Geochim. Cosmoch. Acta*, **42**:1199-1212.

Fujimori S. 1978. *Rochas alcalinas da fazenda Hiassu, Itajú do Colônia, Bahia*. Publicação Especial da SBG-Núcleo Bahia-Sergipe, **2**:117 p.

Heilbron M., Pedrosa-Soares A.C., Campos Neto M.C., Silva L.C., Trouw R.A.J., Janasi V.A. (2004) Província Mantiqueira. In: Geologia do Continente Sul-Americano, Evolução da Obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. Mantesso-Neto, V. Bartorelli, A., Carneiro, C.D.R., Brito Neves, B.B. (Orgs.) Ed. BECA. P.203-234.

Kampunzu A.B., Kramers, J.D., Makutu, M.N. 1998. Rb-Sr whole rock ages of the Lueshe, Kirumba and Numbi igneous complexes (Kivu, Democratic Republic of Congo) and the break-up of the Rodinia supercontinent. *J. African. Earth Sci.*, **26**:29-36.

Köber B. 1987. Single grain evaporation combined with Pb emitter bedding $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ investigations using thermal ion mass spectrometry and implications to zirconology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **96**:63-71.

Korobeinikov A.N., Laajoki K., Gehor S. 2000. Nepheline-bearing alkali

- feldspar syenite (pulaskite) in the Khibina pluton, Kola Peninsula, NW Russia: petrological investigation. *J. Asian Earth Sci.*, **18**:205-212.
- Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., Le Bas M.J., B. Bonin B., Bateman P. 2002. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences Subcommittee on the Systematics of Igneous Rocks.
- Lima M.I.C., Fonsêca E.G., Oliveira E.P., Ghignone J.I., Rocha R.M., Carmo U.F., Silva J.M.R., Siga Jr O. 1981. Geologia. In: Projeto RadamBrasil. Programa de Integração Nacional, Folha SD.24 - Salvador, **24**:24-192.
- Ludwig K.R. 2001. Isoplot/Ex 2.49. Berkley Geochronology Center. 43 p.
- Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. 2004. *Geologia do Continente Sul-Americano: Evolução da Obra de Fernando Fálvio Marques de Almeida*. Beca Produções Culturais Ltda, São Paulo. 647 p.
- Marques L.S., Conceição H., Min A., Ponte Neto C.F., Ernesto M. 2001. Litogeoquímica e paleomagnetismo dos diques alcalinos neoproterozóicos da Província Alcalina do Sul da Bahia (setores Itabuna – Itajú do Colônia): resultados preliminares. In: SBGq Cong. Geol. dos Países de Língua Portuguesa, 6, Faro, Actas, 232-236.
- Martins A.A.M. & Santos R.A. 1997. *Ibicaraí, Folha SD.24-Y-B-V, escala 1:100.000*. Programa de Levantamentos Geológicos Básico do Brasil. MME-SMM-DNPM, Brasília, 192 p.
- Mascarenhas J.F. & Garcia T.W. 1987. *Texto explicativo do mapa geocronológico do Estado da Bahia*. SGM. 186 p.
- McDonough W.F., Sun S., Ringwood A.E., Jagutz E., Hofmann A.W. 1991. K, Rb and Cs in the earth and moon and the evolution of the earth's mantle. *Geochim. Cosmo. Acta*, Ross Taylor Symposium volume.
- Menezes R.C.L. 2005. *Petrogênese da mineralização de sienito azul no Maciço Nefelina-Sienítico Rio Pardo, Sul da Bahia*. Dissertação de Mestrado, IG/UFBA, 98 p.
- Middlemost E.A.K. 1994. Towards a Comprehensive Classification of Igneous Rocks and Magmas. *Earth Sci. Rev.*, **31**:73-87.
- Moreira M.D. 2000. *Projeto Serra do Felíssimo*. Companhia Bahiana de Pesquisa Mineral. 61 p.
- Oliveira A.E.L. 2003. *Geologia, Petrografia, Litogeoquímica e idade Rb-Sr do Maciço Sienítico Itarantim, Sul do Estado da Bahia*. Dissertação de Mestrado, IG/UFBA, 110 p.
- Pedreira A.J. 1999. Evolução sedimentar e tectônica da Bacia Metassedimentar do Rio Pardo: uma síntese. *Rev. Bras. Geoc.*, **29**:339-344.
- Pedreira A. J., Oliveira J.E., Silva B.C.E, Pedrosa C.J. 1975. *Projeto Bahia: Geologia da Bacia do Rio de Contas*. Relatório Final. Salvador, Bahia, CRPM, Convênio DNPM/CPM. 3 volumes.
- Pedrosa-Soares A.C., Noce C.M., Wiedmann C.M., Pinto C.P. 2001. The Araçuaí-West-Congo Orogen in Brazil: an overview of a confined orogen formed during Gondwanaland assembly. *Prec. Res.*, **110**:307-323.
- Peixoto A.A. 2005. *Petrologia do Maciço Sienítico Itabuna*. Tese de Doutorado, IG/UFBA, 145 p.
- Preston R.F., Stevens G., McCarthy T.S. 2003. Fluid compositions in equilibrium with silica-undersaturated magmas in the system Na₂O–Al₂O₃–SiO₂–H₂O: clues to the composition of fenitizing fluids. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **144**:559–569.
- Pupin J. P. 1980. Zircon and granite petrology. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **73**:207-220.
- René P.R., Onstott T.C., D'Agrella Filho M.S., Pacca I.G., Teixeira W. 1990. ⁴⁰Ar/³⁹Ar dating 1.0-1.1 Ga magnetizations from São Francisco and Kalahari cratons: tectonic implications for Pan-African and Barsiliano mobile belts. *Earth Planet. Sci. Letters*, **101**:349-366.
- Rollinson H. 1993. *Using geochemical data*. Logman, London, 352 p.
- Rosa M.L.S., Conceição H., Macambira M.J.B., Marinho M.M., Cunha, M.P., Menezes, R.C.L. 2004. Idade Pb-Pb e aspectos petrológicos da mineralização em sodalita azul no Maciço Nefelina-Sienítico Itarantim, Sul do Estado da Bahia. *Rev. Bras. Geoc.*, **34**(3):347-354.
- Rosa M.L.S., Conceição H., Macambira M.J.B., Marinho M.M., Marques L.S. 2003. Idade (Pb-Pb) e aspectos petrográficos e litogeoquímicos do Complexo Floresta Azul, Sul do Estado da Bahia. *Rev. Bras. Geoc.*, **33**:13-20.
- Rosa M.L.S., Conceição H., Marinho M.M., Macambira M.J.B., Marques L.S. 2002. Geochronology of the South Bahia Alkaline Province (NE Brazil). *Geoch. Cosmoch. Acta*, **66**: A648.
- Silva Filho M.A., Moraes Filho O., Gil C.A.A., Santos R.A. 1976. *Projeto Sul da Bahia, Folha SD.24-Y-D*. Relatório Final, Convênio DNPM-CPRM, **1**:164 p.
- Silva, L.C., Pedrosa-Soares, A.C., Tack, L., Teixeira, L.R. (2004) Zircon U-Pb SHRIMP dating of the anorogenic Tonian Magmatism at the northern edge of the Araçuaí Belt (Eastern Brazil) and correlation with the West Congo Belt (Central Africa). In: Simpósio 40 anos de Geocronologia no Brasil, *Boletim de Resumos*, p.61.
- Souto P.G. 1972. *Geologia e petrografia da área de Potiraguá-Bahia, Brasil*. Tese de Doutorado, IG/USP, 65 p.
- Steiger R.H. & Jäger E. 1977. Subcommittee on geochronology. Convention on the use of decay constants in geo and cosmochronology. *Earth Planet. Sci. Letters*, **36**:359-362.
- Teixeira, L.R. 1997. O Complexo Carnaíba e a Suíte São José do Jacuípe no Cinturão Móvel Salvador-Curaçá (Bahia, Brasil): petrologia, geoquímica e potencial metalogênico. Tese de Doutorado, IG/UFBA, 243 p.
- Teixeira W., Kamo S.L., Arcanjo J.B.A. 1997. U-Pb zircon and baddeleyite age and tectonic interpretation of the Itabuna alkaline suite, São Francisco Craton, Brazil. *J. South Am. Earth Sci.*, **10**:91-98.
- Track L., Wingate M.T.D., Liégeois J.-P., Fernandez-Alonso M., Deblond A. 2001. Early Neoproterozoic magmatism (1000-910 Ma) of the Zadinian and Mayumbian Groups (Bas-Congo): onset of Rodinia rifting at the western edge of Congo craton. *Prec. Res.*, **110**:277-306.
- Whalen J.B., Currie K.L., Chappel B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contrib. Mineral. Petrol.*, **95**:407–419.

Manuscrito A-1567

Recebido em 19 de janeiro de 2005

Revisão dos autores em 01 de novembro de 2005

Revisão aceita em 20 de dezembro de 2005