O Stock Flores: Exemplo de magmatismo granítico tipo-A no Domínio Rio Piranhas-Seridó, NE da Província Borborema

Viviane Oliveira de SOUZA¹, Antônio Carlos GALINDO^{1,2} & Fernando César ALVES DA SILVA^{1,2}

- 1 Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Caixa Postal 1.596, CEP 59.078- 970, Natal, RN, Brasil (vivianegeologa@gmail.com).
- 2 Departamento de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Caixa Postal 1.596, CEP 59.078-970, Natal, RN, Brasil (galindo@geologia.ufrn.br, fernando@geologia.ufrn.br).

Recebido em 05/2016. Aceito para publicação em 07/2017.

Versão online publicada em 21/10/2017 (www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br)

Resumo - O Stock granítico Flores intrude gnaisses paleoproterozoicos, relacionados ao Complexo Caicó, no Domínio Rio Piranha-Seridó, porção setentrional da Província Borborema, NE do Brasil. Este trabalho tem como objetivo a caracterização petrológica e geoquímica de seu monzogranitos. O Stock Flores compreende duas fácies petrográficas de monzogranitos equigranulares, leucocráticos: i) monzogranitos rosados de granulação média; e ii) monzogranitos cinza rosados de granulação fina. Localmente ocorrem no Fácies Tipo II, enclaves máficos exibindo feições de coexistência de magmas (*mixing e mingling*), e *schlieren* elipsoidais, interpretados como estruturas formadas por convecção magmática. Biotita é o máfico principal; titanita, allanita, apatita, zircão e opacos ocorrem como minerais acessórios; fluorita, clorita e saussurita ocorrem como minerais tardios relacionados a fluidos em estágio subsolidus. As análises geoquímicas evidenciam a natureza evoluída do Stock e afinidade alcalina com teores de $\text{SiO}_2 > 71,0\%$, e $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \sim 9,0\%$. Os diagramas discriminantes de ambiente tectônico demonstram a tipologia de granito Tipo-A. Tais dados são coerentes com a idade U-Pb 553 ± 4 Ma encontrada para o Stock, o colocando dentro do contexto tardi- a pós-tectônico em relação à Orogênese Brasileira/Pan-Africana na Província Borborema.

Palavras-chave: Granito alcalino, Tardi a Pós-tectônico, Província Borborema.

Abstract - THE FLORES STOCK: AN EXAMPLE OF A-TYPE GRANITIC MAGMATISM ON RIO PIRANHAS-SERIDÓ DOMAIN, NE BORBOREMA PROVINCE. The Flores granitic stock intrudes paleoproterozoic gneissic related to Caicó Complex, in Rio Piranhas-Seridó Domain, North part of the Borborema Province, NE Brazil. This work focused on the petrological and geochemical characterization of its monzogranites. The Flores Stock comprises equigranular, leucocratic monzogranites, which are divide in two petrographic facies: i) medium grained, pink monzogranites; and ii) fine grained, gray to pink monzogranites. Locally we can find in this type dioritic enclaves displaying magmas coexistence features (*mixing and migling*), and ellipsoidal *schlieren* formed by magmatic convection. Mineralogically, the Stock is constituted by biotite as its main mafic; titanite, allanite, apatite, zircon, opaque, and as late minerals, fluorite, chlorite and saussurite, these late ones are interpreted as related to fluids in subsolidus stage. The studied monzogranites show high SiO_2 contents ($> 71\% \text{ wt}\%$) and alkaline affinity with $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} \sim 9,0\%$. Tectonic discriminant diagrams of tectonic environment suggest a typology of A-type granite related to a post-collisional environment, which is corroborated by U-Pb zircon crystallization age of 553 ± 4 Ma. Thus, the Flores Stock is interpreted as emplaced in a late to post-tectonic stage of the Brasiliana / Pan-African Orogeny in the Borborema Province

Keywords: Alkaline granite, Late to Post-tectonic, Borborema Province.

1 Introdução

Durante a orogênese Brasileira/Panafricana, a Província Borborema (PB) foi afetada pelo desenvolvimento de várias zonas de cisalhamento associadas a um intenso tectonismo, metamorfismo de alto grau e expressivo magmatismo plutônico.

O Domínio Rio Piranhas-Seridó, nordeste da Província Borborema (Almeida *et al.*, 1981), é marcado por intenso magmatismo granítico de idade ediacarana a cambriana, relacionado à orogênese Brasileira/Panafricana. As rochas graníticas resultantes desse magmatismo constituem um importante registro da evolução magmática e tectônica da região permitindo traçar a história evolutiva desses magmas, bem como da província geológica em que ocorrem. Essas rochas graníticas ocorrem com diferentes composições mineralógicas, assinaturas geoquímicas, e dimensões que vão desde batólitos à *stocks* (Nascimento *et al.*, 2008, 2015). O *Stock* Flores, objeto deste estudo, insere-se neste contexto.

A caracterização geoquímica, associada à petrografia e dados de campo, tem sido utilizada para suportar interpretações genéticas e evoluções de magmas graníticos e indicar prováveis ambientes tectônicos onde se deu sua colocação.

Este trabalho tem como objetivos a reavaliação/reclassificação do *Stock* Flores dentro das suítes plutônicas proposta por Nascimento *et al.* (2008, 2015) bem como a caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do *Stock*, de forma a permitir interpretações petrogenéticas que contribuam para a evolução e compreensão dos conhecimentos do plutonismo tardi a pós-orogênese Brasileira/Panafricana na porção nordeste da Província Borborema.

2 Área, materiais e métodos

2.1 Geologia Regional

A Província Borborema é uma unidade geotectônica localizada na porção nordeste do Brasil, fortemente afetada pela Orogênese Brasileira, no final do Neoproterozoico (Almeida *et al.*, 1977). Possui um embasamento arqueano a paleoproterozoico, sequências supracrustais dobradas e numerosos corpos plutônicos neoproterozoicos controlados por zonas de cisalhamento. Vários pesquisadores dedicaram-se a subdivisões da Província Borborema em subprovíncias, subdomínios ou domínios tectônicos distintos, delimita-

dos por falhas ou zonas de cisalhamento (Brito Neves *et al.*, 1995; Van Schmus *et al.*, 1995; Santos, 1996, 1999; Santos & Medeiros, 1999; Santos *et al.*, 2000). Delgado *et al.* (2003) subdividem a província em três subprovíncias: a Subprovíncia Meridional, limitada pelo lineamento Pernambuco a norte e pelo Cráton do São Francisco a sul; a Subprovíncia da Zona Transversal, limitada a norte e a sul respectivamente pelos lineamentos Patos e Pernambuco; e a Subprovíncia Setentrional posicionada a norte do lineamento Patos.

Na Subprovíncia Setentrional são caracterizados vários terrenos ou domínios geológicos separados por extensas e expressivas zonas de cisalhamento transcorrentes de cinemática dextral de direção NNE-SSW, a exemplo da Zona de Cisalhamento Portalegre (ZCPa) e a Picuí João Câmara no estado do Rio Grande do Norte, sendo reconhecidas como importantes marcadores na divisão de domínios geológicos, delimitando os domínios Jaguaribeano, Rio Piranhas-Seridó e São José do Campestre (Fig. 1).

O Domínio Rio Piranhas-Seridó, no qual situa-se o *Stock* Flores, engloba várias associações litológicas de idades precambrianas: Complexo Caicó, constituindo o embasamento da área, composto por ortognaisses equigranulares ou augen, anfibólitos, e rochas metavulcânicas e metassedimentares (Jardim de Sá, 1994); Suíte Poço da Cruz, descrita originalmente como granitóides do tipo G2 por Jardim de Sá *et al.* (1981), composta, principalmente, por augen gnaisses com porfiroclastos de feldspato; e o Grupo Seridó. (Jardim de Sá & Salim, 1980; Jardim de Sá, 1984) o qual é composto, da base para o topo, pelas formações Jucurutu, Equador e Seridó.

Diversos corpos magmáticos de idade neoproterozoicas (dominantemente ediacaranos) intrudem os litotipos supracitados, ocorrendo com características petrográficas, geoquímicas e geocronológicas distintas. Vários pesquisadores se dedicaram à classificação dessas rochas usando desde parâmetros tectônicos (Almeida *et al.*, 1967; Brito Neves & Pessoa, 1974; Santos & Melo, 1978), estruturais (Jardim de Sá *et al.*, 1981) e geoquímicos (Sial, 1987; Galindo *et al.*, 1997a, 1997b; Hollanda, 1998; Nascimento *et al.*, 2000, 2008, 2015). Nascimento *et al.* (2015) identificaram nos domínios Rio Piranhas-Seridó e São José do Campestre seis suítes magmáticas (Fig. 1) denominadas de Shoshonítica (Shos), Calcioalcalina de alto K Porfírica (CalcKP), Calcioalcalina de alto K Equigranular (CalcKEq), Calcioalcalina (CalcAlc), Alcalina (Alc) e Alcalina Charnóquítica (AlcCh).

Figura 1. Arcabouço geológico de parte da porção setentrional da Província Borborema com destaque para os domínios Rio Piranhas-Seridó e São José do Campestre, com ênfase no magmatismo Ediacarano a Cambriano (Modificado de Nascimento *et al.*, 2015).

Figure 1. Geological framework of part of the septentrional portion of the Borborema Province highlighting Rio Piranhas-Seridó Domain and São José do Campestre Domain, with emphasis on the Ediacaran to Cambrian magmatism (Modified Nascimento *et al.*, 2015).

2.2 Geologia do Stock Flores

O granito Flores é um stock de aproximadamente 8 km² de área aflorante, exibindo geometria subcircular a levemente alongada na direção NW, discordante da foliação regional associada à tectônica Brasileira/Panafricana. Ocorre intrusivo em unidades paleoproterozoicas, representadas pelos ortognaisses bandados, relacionadas ao Complexo Caicó, e augen gnaisses, da Suíte Poço da Cruz. Xenólitos da Suíte Poço da Cruz ocorrem localmente. Não exhibe evidências de tectônica dúctil, mostra apenas um padrão de estruturas frágeis de direção NNE-SSW (Fig. 2). A morfologia em campo é ressaltada por extensos paredões constituídos por conjunto de matacões, os quais compõem as bordas do stock. A idade ediacarana (553±4 Ma) foi definida por Souza *et al.* (2015), através do método U-Pb em zircão (LA-ICP-MS).

Os trabalhos de campo, com auxílio de imagens de satélite, possibilitaram a separação de dois fácies texturais distintas no stock, ambos de

natureza granítica. A fácies Tipo I (predominante) compõe a maior parte do stock, representada por um conjunto de matacões que a caracterizam e destacam o Stock Flores do relevo em seu entorno. As rochas exibem granulação média e coloração rosada. A fácies Tipo II ocorre de forma subordinada na porção S/SE arrasada do corpo, (claramente identificável em imagens de satélites) na qual predominam rochas de granulação fina com coloração acinzentada a rosada.

Enclaves máficos de composição diorítica (enclaves máficos microgranulares *sensu* Didier & Barbarin, 1991) se concentram principalmente na fácies Tipo II, mostrando evidências de coexistência e mistura parcial de magmas (*mingling e mixing*; fig. 3). Estas feições são comuns em granitos ediacaranos da Província Borborema (Mariano & Sial, 1990; Galindo, 1993; Galindo *et al.*, 1995; Cavalcante *et al.*, 2014; Nascimento *et al.*, 2015) e em plutons graníticos descritos na literatura (Zorpi *et al.*, 1989; Vernon, 1990, 2004; Hibbard, 1995; Barbarin, 2005).

ERA	PERÍODO	LITOESTRATIGRAFIA		CONVENÇÕES GEOLÓGICAS	CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS
Neo-proterozoico	Ediacarano	Flores	<p>Tipo I: Granito equigranular médio, rosa com biotita. Contém xenólitos do embasamento.</p> <p>Tipo II: Granito equigranular fino, cinza claro, com enclaves máficos a intermediários e ocorrência de schilleren elipsóidais.</p>	<p>✓ Foliação S₂</p> <p>✓ Foliação S₃</p> <p>✓ Foliação milonítica</p> <p>✓ Lineação mineral L₁</p> <p>✓ Lineação mineral L₂</p> <p>✓ Lineação milonítica</p> <p>— Fraturas</p> <p>— Lineamentos fotointerpretados</p>	<p>— Rodovias estaduais</p> <p>— Estradas secundárias</p> <p>— Povoados</p> <p>— Drenagens</p>
	Riachão	<p>Suíte Poço da Cruz</p> <p>Complexo Caicó</p>	<p>Augen gnaiss granítico a granodiorito.</p> <p>Gnaisses bandados indiferenciados; biotita gnaisses, Hornblenda gnaisses, metadioritos, gabros (ortoanfibolitos), augens gnaisses, metandesitos.</p>		

Figura 2. Mapa geológico do granito do Stock Flores.
Figure 2. Geological Map of the Flores Stock.

Figura 3. Enclaves magmáticos do Stock Flores. A) Enclave máfico diorítico; B) Feições de *mingling* e *mixing* magmáticos evidenciando diferentes composições magmáticas presentes na câmara do Stock Flores.

Figure 3. Enclaves to Flores Stock. A) Mafic enclave of diorite; B) Features of *mingling* and *mixing* magmatic showing different magmatic compositions in chamber Flores Stock.

Outros tipos de enclaves máficos, de particular interesse nos granitos do Stock Flores, são os *schlieren* elipsoidais, presentes no fácies Tipo II. Eles se apresentam com um núcleo máfico circundado por um ou mais anéis concêntricos (Fig. 4).

Este tipo de estrutura possibilita a obtenção de informações sobre fluxo de magma que por sua vez, contribuem para a compreensão da dinâmica interna da câmara magmática.

Figura 4. Estruturas de *schlieren* elipsoidais. A e B) *Schlieren* elipsoidais exibindo um núcleo máfico circundado por um ou mais anéis concêntricos fechados; C e D) Seção dos *schlieren* elipsoidais não exibindo o núcleo máfico.

Figure 4. Structures of the ellipsoidal *schlieren*. A and B) Ellipsoidal *Schlieren* exhibiting an mafic core surrounded by one or more closed concentric rings; C and D) Section of ellipsoidal *schlieren* not displaying the mafic core.

2.3 Materiais e métodos

Para a realização desse trabalho foram con-

feccionados mapas prévios a partir de imagens de Satélite (Landsat TM5; Geoeeye) com tratamento de PDI nos *softwares* ER-Mapper® e Arcgis®. Fo-

ram realizadas excursões a campo com o intuito de reconhecer e mapear a área de trabalho, bem como coletar material para a realização de análises petrográficas e geoquímicas. Doze lâminas delgadas foram descritas utilizando-se microscópio ótico petrográfico Leica DMLP. Para o cálculo das porcentagens modais das lâminas descritas, foi realizada a contagem de mil pontos por lâmina com o auxílio do dispositivo *charriot*, acoplado ao microscópio, e do programa de identificação de rochas Hardledge®. Para a classificação e nomenclatura das rochas, foi utilizada a terminologia proposta pela IUGS (Streckeisen, 1976). Para a caracterização litogeoquímica realizou-se a preparação de quinze amostras incluindo fragmentação até 1-3cm em britador de mandíbula, seguido de redução a pó em moinhos de anéis de tungstênio. As amostras foram analisadas pelo ACME-Analytical Laboratoire LTDA, o qual quantificou os elementos maiores (Espectrometria de Emissão Atômica com Plasma Acoplado Indutivamente – ICP-OES), traços e terras raras (Espectrometria de Massas com Plasma Acoplado Indutivamente – ICP-MS). A

perda ao fogo foi calculada pela diferença de peso após aquecimento de 0,2 g de amostra a 2000° C. O erro analítico é menor que 5% para óxidos e de 10 a 15% para os elementos traços. Para complementar a caracterização geoquímica os parâmetros normativos CIPW foram calculados com o auxílio do programa GCDkit®.

3 Resultados

3.1 Petrografia e microtexturas do Stock Flores

As rochas de ambas as fácies do *Stock Flores* são composicionalmente monzogranitos hololeucocráticos (M < 6%; Fig. 5), com assembleia mineral similar e, como tal serão descritas conjuntamente. Quartzo, K-feldspato e plagioclásio representam os minerais félsicos dominantes (> 94%). A biotita é o máfico dominante (< 5%), titanita, allanita, apatita, zircão, minerais opacos e fluorita, os acessórios. Como minerais secundários relacionados a fluidos em estágio *subsólido*, ocorrem clorita, epídoto, mica branca e carbonato (Tab. 1).

Figura 5. Classificação das rochas plutônicas estudadas com base nos diagramas QA+PM (A) e QAP (B) (Streckeisen, 1976; Le Maitre, 2002).

Figure 5. Classification of plutonic rocks studied based on QA + PM (A) and QAP (B) diagrams (Streckeisen, 1976; Le Maitre, 2002).

Os cristais de plagioclásio apresentam-se anédricos a subédricos com até 5,0 mm de comprimento, podem apresentar zonação normal (núcleos mais alterados), comumente mostram maclas polissitéticas bem definidas, sendo a maioria do tipo albita, e inclusões de biotita, zircão e apatita. Textura mirmequítica, principalmente do tipo bulbosa, está presente no contato com o K-feldspato.

Alteração para epídoto granular, carbonato e mica branca, é relativamente comum (Fig. 6A). Química mineral por microsonda eletrônica (Galindo *et al.*, 2012) indica composição oligoclásica sódica com An₁₂₋₁₃%.

O K-feldspato ocorre como cristais anédricos a subédricos com até 6 mm no seu eixo maior, exibindo o padrão de macla *tartan* (padrão em gra-

de das maclas Albita *versus* Periclina). Texturas pertíticas (tipos fios e filetes) e, localizadamente, granofírica são encontradas. Inclusões de plagioclásio,

clásio, quartzo, apatita, biotita, titanita e minerais opacos são comuns (Fig. 6B, C).

Tabela 1. Composição modal das rochas que compõem o Stock Flores. Q: Quartzo; A: Feldspato alcalino; P: Plagioclásio.
Table 1. Modal composition of rocks that making up the Flores Stock. Q: Quartz; A: alkali feldspar; P: plagioclase.

Fácies	Flores Tipo I								Flores Tipo II			
Amostra (%)	VF-04A	VF-05	VF-16	VF-30B	VF-30D	VF-31	VF-42	VF-13B	VF-19	VF-27	VF-30A	VF-54
Quartzo	27,7	29,0	35,6	31,9	35,8	27,9	31,9	33,6	30,6	33,3	33,2	32,5
Plagioclásio	34,4	28,6	31,0	31,8	28,8	33,4	32,5	32,9	30,5	30,9	30,0	34,4
K-Feldspato	33,3	36,6	26,7	33,3	31,1	34,7	30,8	30,7	32,1	32,9	32,6	28,5
Biotita	3,2	4,7	4,0	2,4	3,9	3,1	4,4	1,5	4,4	1,1	3,5	4,5
Titanita	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0,2	Tr	Tr	Tr
Alanita	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	0,4	-	0,2	0,4	0,2	Tr	Tr
Apatita	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Opacos	0,5	0,4	1,0	0,2	0,2	0,2	-	0,7	0,7	0,2	Tr	0,1
Zircão	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr	Tr
Fluorita	----	----	----	----	----	Tr	----	----	----	----	----	----
Clorita	Tr	Tr	0,1	0,1	-	0,2	-	Tr	0,3	0,4	0,3	Tr
Muscovita	0,9	0,7	1,6	0,3	0,2	0,1	0,4	-	0,8	1,0	0,4	Tr
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Q	29,0	30,8	38,2	32,9	37,4	29,1	33,5	34,6	32,8	34,3	34,6	34,0
A	34,9	30,4	28,6	34,3	32,5	36,1	32,3	31,6	34,4	33,8	34,0	32,0
P	36,1	30,3	33,2	32,8	30,1	34,7	34,1	33,8	32,7	31,8	31,3	34,0
Σ Máficos	3,7	5,1	5,0	2,6	4,1	3,7	4,4	2,8	5,7	1,5	3,5	4,6
A+P	67,6	65,2	63,6	65,1	59,9	68,1	63,3	63,9	62,6	63,8	63,0	62,9

O quartzo ocorre em cristais anédricos com dimensões de até 6 mm, exibem no geral contatos curvos a irregulares com plagioclásio e microclina. Comumente apresenta extinção ondulante e fraturamento de cristais indicando deformação em estado sólido. Ocorre ainda como cristais vermiculares e goticulares associados às texturas mirmecíticas e granofíricas.

A biotita exibe forte pleocróismo em tons marrom e verde, hábito plaçoide/lamelar, subédrica, sendo comum apresentar processo de cloritização bem como inclusões de minerais opacos e zircão (Fig. 6D). Análise química por microsonda eletrônica mostra composições enriquecidas na molécula de annita com razões $Fe/(Fe+Mg) > 0,7$ e $Al^{IV} < 2,4$ (Galindo *et al.*, 2012). Os minerais opacos primários são euédricos a subédricos, atingindo até 0,2 mm, ou anédricos derivados da desestabilização de biotita para clorita. A titanita ocorre como cristais euédricos a euédricos usualmente losangulares de cor marrom pálida, com dimensão de 0,3 até 1,00 mm. A allanita se apresenta como cristais subédricos zonados, com cor amarela acas-

tanhada com dimensão de 0,4 mm a 1,0 mm, e por vezes exibe processos de metamictização. Apatita e zircão aparecem como pequenos cristais incolores, euédricos a subédricos, usualmente inclusos em plagioclásio e biotita. A fluorita é comumente subédrica a anédrica, incolor a levemente lilás.

Muscovita e clorita ocorrem essencialmente como produtos de alteração da biotita, revelando-se, por vezes, verdadeiros pseudomorfos. Associada a cloritização ocorre o desenvolvimento de finos opacos ao longo dos planos de clivagens da biotita. Carbonato, epídoto e mica branca ocorrem como produto de alteração do plagioclásio, preenchendo fraturas ou no interior dos grãos.

3.2 Geoquímica do Stock Flores

3.2.1 Caracterização Litogeoquímica

Os resultados das análises químicas para as rochas do Stock Flores, bem como os cálculos normativos (CIPW) estão aqui apresentados da seguinte maneira: Elementos maiores (Tab. 2); Mine-

rais normativos (CIPW; Tab. 3); Elementos traços (Tab. 4); Elementos terras raras (Tab. 5).

As rochas do *Stock Flores* são enriquecidas em SiO_2 (71,43 - 74,87%), Al_2O_3 (12,99-13,93%), e K_2O (4,95- 6,03%), e empobrecidas em MgO (<0,5%), CaO ($\leq 1,4\%$), Fe_2O_3 (<2,3%), TiO_2 (<0,4%) e P_2O_5 (<0,8%). Exibem caráter peraluminoso (razão mo-

lecular A/CNK de 0,98 a 1,08), sempre com coríndon normativo, excetuando-se uma amostra.

Diagramas de variação do tipo Harker mostram correlações negativas para Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , TiO_2 , K_2O , Zr, e em menor grau para Ba e Sr (Fig. 7). Outros elementos/óxidos mostram dispersão (Na_2O , Rb, Nb e Y, por exemplo).

Figura 6. Fotomicrografias dos minerais que compõem a paragenese do *Stock Flores*. A) Cristal zonado de Plagioclásio (Pl) com centro mais cálcico exibindo processo de saussuritização; B) Cristal de K- Feldspato (Kf) com inclusão de cristal de plagioclásio zonado; C) Cristal de K-feldspato com textura granofírica; D) Cristal de biotita com inclusão de opaco euédrico (magnetita).

Figure 6. Photomicrographs of minerals that make up the paragenesis Flores Stock. A) Zoned crystal of the plagioclase (Pl) with center more calcium showing saussuritization process; B) K-feldspar crystal (Kf) with inclusion of plagioclase zoned crystal; C) K-feldspar crystal with granophyric texture; D) Biotite crystal with inclusion of euhedral opaque (magnetite).

O padrão dos elementos terras raras-ETRs (Fig. 8A) exibe um moderado grau de enriquecimento de ETRL em relação aos ETRP com razões La_N/Yb_N entre 4,59% – 30,85. O perfil de curva exposto no diagrama exibe uma inclinação moderada para os ETRL (razões La_N/Sm_N entre 3,41 – 7,22) e uma inclinação suavizada/horizontalizada para os ETRP (razões Gd_N/Yb_N entre 0,97 – 2,46), além de uma marcante anomalia negativa de Eu. (Eu/Eu^* entre 0,24- 0,55).

Para a análise do comportamento conjunto de elementos maiores/menores (K, P e Ti) e traços e ERTs (Ba, Rb, Th, Nb, Ta, Sr, Zr, Hf e Y; La, Ce, Nd, Sm, Tb, Tm e Yb) foi utilizado diagramas multielementos do tipo *spidergrams*. O espectro do diagrama (Fig. 8B) exibe um enriquecimento em relação ao condrito, com um caimento suave do Rb ao Yb, com anomalias negativas para Nb, Sr, P e Ti.

3.2.2 O *Stock Flores* no contexto de séries magmáticas, ambientes tectônicos e tipologia de granitóides

A caracterização da série/associação magmática a qual as rochas do *Stock Flores* estão relacionadas foi feita a partir de variados diagramas discriminantes binários de associações magmáticas (Fig. 9), tanto aqueles que definem *trends* (TAS - Lameyre, 1987; R1xR2 - De La Roche *et al.*, 1980), quanto os que definem campos (Wright, 1969; Rogers & Greenberg, 1981; Sylvester, 1989; Frost *et al.*, 2001).

No diagrama TAS as amostras distribuem-se entre as linhas de tendência monzonítica e alcalina, e no campo alcalino quando considerado a linha divisória alcalino/subalcalino proposta por Miyashiro (1978; fig. 9A). No diagrama R1x R2 as amostras se distribuem ao longo da tendência al-

calina de rochas enriquecidas em sílica (Fig. 9B). No diagrama proposto por Rogers & Greenberg (1981) as amostras do *Stock Flores* posicionam-se no campo alcalino (Fig. 9C). O índice de alcalinidade (Wright, 1969) também caracteriza o *Stock Flores* como parte de uma suíte alcalina (Fig. 9D). Da mesma forma, o diagrama de Sylvester (1989) caracteriza as rochas do *Stock Flores* como parte

de uma suíte alcalina, transicionando para o subdomínio dos granitos alcalinos similares a granitos calcioalcalinos fortemente fracionados (Figura 9E). Por fim, no diagrama de Frost *et al.* (2001) as amostras analisadas plotam predominantemente no campo Ferroso, comum aos granitos alcalinos (Fig. 9F).

Tabela 2. Análise química dos elementos maiores (% em peso) para rochas do *Stock Flores*.
Table 2. Chemical analysis of major elements (% by weight) for rocks of the *Flores stock*.

Elementos maiores em % peso														
Fácies	Flores Tipo I										Flores Tipo II			
Óxidos	VF04A	SF26	SF03	SF38	SF25	VF05	VF31	VF30B	SF40	VF30D	VF27	VF13B	VF30A	VF25
SiO ₂	71,52	72,15	72,73	72,74	73,06	73,30	73,60	73,80	74,12	74,63	73,59	74,43	74,52	74,87
Al ₂ O ₃	13,72	13,79	13,60	13,73	13,38	13,52	13,54	13,54	13,15	13,37	13,42	12,99	13,16	13,37
Fe ₂ O ₃	2,15	2,16	2,14	1,68	2,05	1,75	1,74	1,40	1,55	1,38	1,38	1,67	1,39	1,30
MnO	0,03	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,05
MgO	0,27	0,28	0,25	0,17	0,23	0,19	0,19	0,12	0,14	0,17	0,15	0,10	0,17	0,13
CaO	1,32	1,04	1,01	1,16	0,94	0,96	0,94	0,82	0,92	0,86	0,97	1,11	0,85	0,64
Na ₂ O	3,30	3,33	3,32	3,32	3,25	3,34	3,40	3,45	3,42	3,57	3,22	3,31	3,37	3,19
K ₂ O	5,69	5,75	5,37	5,68	5,50	5,44	5,47	5,22	4,96	5,00	5,86	4,95	5,12	5,54
Ti ₂ O	0,42	0,31	0,27	0,20	0,24	0,19	0,20	0,13	0,16	0,13	0,13	0,22	0,14	0,13
P ₂ O ₅	0,06	0,07	0,06	0,03	0,06	0,04	0,05	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02
PF	1,30	0,70	0,90	0,90	0,90	1,10	0,70	1,40	1,20	0,70	1,10	1,00	1,10	0,60
Total	99,81	99,61	99,69	99,65	99,64	99,88	99,87	99,91	99,67	99,91	99,90	99,85	99,90	99,87
Na ₂ O+K ₂ O	8,99	9,08	8,69	9,00	8,75	8,78	8,87	8,67	8,38	8,57	9,08	8,26	8,49	8,73
K ₂ O/Na ₂ O	1,72	1,73	1,62	1,71	1,69	1,63	1,61	1,51	1,45	1,40	1,82	1,50	1,52	1,74
A/(NK)	1,18	1,18	1,21	1,18	1,18	1,19	1,18	1,20	1,20	1,18	1,15	1,20	1,19	1,19
A/(CNK)	0,98	1,01	1,04	1,00	1,03	1,03	1,02	1,06	1,04	1,04	1,00	1,01	1,04	1,08
M=Na+K+Ca Al*Si	1,50	1,44	1,40	1,45	1,40	1,40	1,40	1,35	1,37	1,36	1,43	1,40	1,36	1,31

No que diz respeito ao ambiente tectônico para o alojamento do *Stock Flores*, foram levadas em consideração, além das relações de campo (critérios de intrusão, ausência de feições dúcteis, rochas essencialmente isotrópicas, etc.), a análise de diagramas geoquímicos discriminantes de ambiente tectônico (Pearce *et al.*, 1984; Harris *et*

al., 1986; Maniar & Picolli, 1989; Pearce, 1996). Nestes diagramas rochas do *Stock Flores* mostram afinidade geoquímica com granitos de ambientes tectonicamente estáveis, pós-colisionais e/ou pós-orogênicos, ressaltando-se que na proposta de Pearce *et al.* (1984) há uma coerência com granitos intraplacas (Figura 10).

Tabela 3. Composição dos minerais normativos CIPW (% peso) para as rochas do *Stock Flores*.
Table 3. Composition of normative minerals CIPW (% weight) for rocks of the *Flores Stock*.

Minerais Normativos (CIPW) em % em peso														
Fácies	Flores Tipo I										Flores Tipo II			
Minerais	VF04A	SF26	SF03	SF38	SF25	VF05	VF31	VF30B	SF40	VF30D	VF27	VF13B	VF30A	VF25
Quartzo	27,56	28,32	30,50	29,03	30,92	30,82	30,73	31,90	33,12	32,78	30,18	33,76	33,33	33,60
Coríndon	0,00	0,36	0,63	0,08	0,51	0,49	0,44	0,79	0,53	0,59	0,06	0,21	0,60	1,01
Ortoclásio	33,63	33,98	31,73	33,57	32,50	32,15	32,33	30,85	29,31	29,59	34,63	29,25	30,26	32,74
Albita	27,92	28,17	28,09	28,09	27,50	28,26	28,77	29,19	28,94	30,21	27,24	28,01	28,51	26,99
Hematita	2,15	2,16	2,14	1,68	2,05	1,75	1,74	1,40	1,55	1,38	1,38	1,67	1,39	1,30
Titanita	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Rutilo	0,29	0,20	0,22	0,15	0,21	0,16	1,67	0,10	0,13	0,10	0,11	0,20	0,11	0,07
Apatita	0,14	0,17	0,14	0,07	0,14	0,09	0,12	0,07	0,05	0,07	0,05	0,05	0,07	0,47
Soma	98,48	98,98	98,79	98,75	98,74	98,76	99,16	98,54	98,47	99,27	98,74	98,82	98,77	99,24

Tabela 4. Análise química dos elementos traços (ppm) para as rochas do Stock Flores.

Table 4. Chemical analysis of trace elements (ppm) for rocks of the Flores Stock.

Elementos Traços em PPM														
Fácies	Flores Tipo I										Flores Tipo II			
Amostras	VF04A	SF26	SF03	SF38	SF25	VF05	VF31	VF30B	SF40	VF30D	VF27	VF13B	VF30A	VF25
Zr	322,3	298,8	292,0	206,4	277,2	213,8	208,9	137,3	173,7	110,5	67,4	62,5	123,5	135,2
Ni	71,0	2,5	1,7	2,2	2,5	50,3	48,2	33,7	2,0	31,8	20,7	96,1	36,3	61,2
Y	80,9	35,3	35,3	35,3	35,3	39,4	36,1	33,9	35,3	40,7	24,2	76,0	46,8	62,6
Nb	58,2	55,5	48,5	39,7	33,8	31,2	28,8	26,9	42,9	40,6	21,3	49,8	42,7	31,2
Ta	6,8	3,8	3,2	4,2	2,7	2,9	3,0	2,3	4,0	4,9	2,2	6,6	5,5	3,3
Th	35,4	1,8	1,4	1,2	1,1	27,7	30,0	25,3	1,1	31,3	14,3	72,5	32,9	28,3
Hf	9,3	8,9	8,6	6,9	8,7	7,5	7,1	5,5	6,3	4,4	2,4	2,7	5,0	5,4
Sm	16,3	12,3	10,8	8,1	10,6	8,8	8,5	6,4	7,8	6,4	4,2	19,3	7,7	12,6
Ce+Y+Nb+Zr	629,0	540,9	540,7	401,5	522,2	416,6	398,7	281,5	352,4	263,6	162,2	424,9	292,0	349,5
10 ³ *Ga/Al	3,65	3,13	3,48	3,20	3,30	3,48	3,17	3,26	3,55	3,47	3,15	3,41	3,51	3,37
T(°C)sat.Zr	842,1	839,4	841,0	804,5	835,7	811,8	809	776,1	795,5	756,9	713,5	710,2	766,7	777,6

Tabela 5. Análise química dos elementos terras raras (ppm) para as rochas do Stock Flores.

Table 5. Chemical analysis of rare earth elements (ppm) for rocks of the Flores Stock.

Elementos Terras Raras em PPM															
Fácies		Flores Tipo I										Flores Tipo II			
Amostras	VF04A	SF26	SF03	SF38	SF25	VF05	VF31	VF30B	SF40	VF30D	VF27	VF13B	VF30A	VF25	
La	88,5	81,9	88,9	61,8	91,6	70,3	65,7	46,0	50,4	37,4	25,7	119,0	41,9	76,4	
Ce	167,6	151,3	164,9	120,1	175,9	132,2	124,9	83,4	100,5	71,7	49,3	236,6	79,0	120,5	
Pr	19,4	18,1	19,0	13,1	19,7	14,4	13,9	9,9	11,6	8,7	5,7	27,4	10,0	16,8	
Nd	71,0	62,9	62,5	46,4	66,3	50,3	48,2	33,7	39,1	31,8	20,7	96,1	36,3	61,2	
Sm	16,3	12,3	10,8	8,1	10,7	8,8	8,5	6,4	7,8	6,4	4,2	19,3	7,7	12,6	
Eu	1,4	1,1	1,0	0,7	0,9	0,8	0,8	0,6	0,7	0,6	0,7	1,5	0,6	1,0	
Gd	16,4	11,4	9,8	7,2	7,2	7,5	7,2	5,6	6,5	6,6	4,1	16,7	7,3	12,4	
Tb	2,8	1,8	1,4	1,2	1,1	1,2	1,1	0,8	1,1	1,1	0,7	2,7	1,3	1,9	
Dy	15,8	11,0	8,7	7,2	5,9	6,4	6,4	5,0	6,6	7,0	4,3	14,9	7,6	10,6	
Ho	3,1	2,1	1,7	1,4	1,1	1,2	1,3	1,0	1,4	1,4	0,9	2,9	1,6	2,2	
Er	8,8	5,7	4,8	4,1	3,5	3,8	3,8	3,0	4,3	4,5	2,6	8,1	5,1	6,0	
Tm	1,2	0,8	0,7	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5	0,7	0,7	0,4	1,1	0,8	0,8	
Yb	7,6	5,9	5,2	4,1	3,9	4,2	4,1	3,2	5,2	5,5	2,8	7,1	6,0	5,6	
Lu	1,1	0,7	0,7	0,5	0,5	0,7	0,6	0,5	0,8	0,9	0,4	1,0	1,0	0,9	
ΣETR	421,0	367,0	380,1	276,4	388,7	302,4	287,1	199,8	236,8	184,5	122,6	554,5	206,1	329,1	
(La/Yb) ^N	7,8	9,4	11,6	10,1	15,8	11,4	10,7	9,6	6,5	4,6	6,1	11,4	4,7	9,1	
Eu/Eu* ^N	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,5	0,2	0,2	0,2	
(La/Sm) ^N	3,4	4,2	5,2	4,8	5,4	5,0	4,9	4,5	4,0	3,6	3,9	3,9	3,4	3,8	
(Gd/Yb) ^N	1,7	1,6	1,5	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	1,0	1,0	1,2	1,9	1,0	1,7	

Considerando a assinatura geoquímica alcalina e sua relação com ambientes tectônicos pós-orogênicos/pós-colisionais, foram utilizados diferentes diagramas objetivando definir a afinidade geoquímica do Stock Flores com granitos tipo-A, conforme proposição inicialmente apresentada por Loiselle & Wones (1979) e depois amplamente discutida e/ou redefinida na literatura sobre o tema.

A partir de critérios propostos por Nardi & Bittencourt (2009) para a definição de granitos tipo-A, tais como: (NaO + K₂O) e (FeO_T/FeO_T+MgO) em rocha total, respectivamente igual ou maior que 9 % e 0,9; (10⁴*Ga)/Al>2,6 e Ce+Y+Nb+Zr> 340

ppm; e afinidade com granitos intraplacas no diagrama de Pearce *et al.* (1984), foi possível classificar o Stock Flores como granito tipo-A. A distribuição das amostras do Stock Flores nos diagramas FeO_T/(FeO_T+MgO) versus [(Na₂O/62+(K₂O/94)/Al₂O₃/102) e Ga/(Al₂O₃*0,52) versus (Zr+Y+Ce+Nb) mostra uma clara afinidade com os granitos tipo-A (Fig.11A, B).

Dall'Agnol & Oliveira (2007) propuseram os diagramas FeO_T/(FeO_T+MgO) versus Al₂O₃ e FeO_T/(FeO_T+MgO) versus Al₂O₃/(K₂O/Na₂O) para a distinção entre granitos tipo-A oxidado ou tipo-A reduzido. A utilização desses diagramas para as rochas do Stock Flores mostra uma afinidade com os

granitos tipo-A oxidados (Fig. 11C, D).

Figura 7. Diagramas tipo Harker exibindo predominantemente tendência negativa para alguns dos elementos químicos analisados. A) $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_3$; B) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_3$; C) $\text{CaO} \times \text{SiO}_3$; D) $\text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_3$; E) $\text{TiO}_2 \times \text{SiO}_3$; F) $\text{Zr} \times \text{SiO}_3$; G) $\text{Sr} \times \text{SiO}_3$; H) $\text{Ba} \times \text{SiO}_3$.

Figure 7. Diagrams type Harker exhibiting predominantly negative trend for the some chemical elements analysed. A) $\text{Al}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_3$; B) $\text{Fe}_2\text{O}_3 \times \text{SiO}_3$; C) $\text{CaO} \times \text{SiO}_3$; D) $\text{K}_2\text{O} \times \text{SiO}_3$; E) $\text{TiO}_2 \times \text{SiO}_3$; F) $\text{Zr} \times \text{SiO}_3$; G) $\text{Sr} \times \text{SiO}_3$; H) $\text{Ba} \times \text{SiO}_3$.

Os geotermômetros que envolvem saturação em P_2O_5 (Watson & Harrison, 1984) e Zr (Watson & Harrison, 1983) foram utilizados para se inferir a possível temperatura relativa ao *liquidus* do magma do Stock Flores, considerando que apatita e zircão são as fases minerais mais precoces na sua sequência de cristalização (ver discussão mais adiante). Os diagramas P_2O_5 versus SiO_2 e Zr versus $(\text{Na}+\text{K}+2\text{Ca})/\text{Al}^*\text{Si}$ (Fig. 12C, D) indicam então

temperaturas na faixa de 750°C a 840°C para o *liquidus* (início da cristalização de apatita e zircão).

As condições de fugacidade de oxigênio relativas a evolução do magma dos monzogranitos do Stock Flores é aqui inferida principalmente com base nos parâmetros mineralógicos de suas rochas. A presença da paragênese mineral titanita+magnetita+quartzo, primária e em equilíbrio, sugere $f\text{O}_2$ moderada a alta (Wones, 1989).

Esta indicação é também em parte corroborada pela presença de hematita normativa em todas as amostras do *Stock*, além de razões $\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg}) > 7$

para a biotita indicando fO_2 na transição dos tampões QFM/NN0 (Galindo *et al.*, 2012).

Figura 8. Diagramas de diferentes elementos terras raras e traços, para as rochas do *Stock* Flores. Fácies Tipo-I (Linhas laranjas); Fácies Tipo-II (Linhas azuis). A) Espectro de ETR com valores normalizados em relação ao condrito de Evensen *et al.* (1978); B) Espectro de multielementos com valores normalizados em relação ao condrito de Thompson (1982).

Figure 8. Diagrams of different rare earths and trace elements, to the rocks of the Flores stock. Facies type-I (oranges lines); Facies Type-II (blue lines). A) REE spectrum with normalized values relative to the Chondrite Evensen *et al.* (1978); B) Multi-element spectrum with normalized values relative to Chondrite Thompson (1982).

4 Discussão dos resultados

A ausência de estruturas dúcteis e presença apenas de estruturas frágeis (N-NW e N-NE), associada ao fato da intrusão cortar a foliação regional (NNE-SSW), assim como a idade de 553 ± 4 Ma, U-Pb em zircão (Souza *et al.*, 2015), evidenciam o caráter tardi a pós-tectônico do alojamento do *Stock* Flores dentro do contexto da orogênese Brasileira/Panafricana na Província Borborema.

A ocorrência localizada das rochas da fácies Tipo II, na porção S/SE, sempre associadas a enclaves máficos, inclusive com feições de *mixing e mingling*, são parâmetros indicativos que, em parte, essas rochas são produtos de hibridização. Dessa forma, essa porção arrasada do *Stock* Flores é possivelmente resultado de um processo erosional mais efetivo na área, em função da maior quantidade de enclaves máficos.

Schlieren elipsoidais são estruturas pouco observadas em granitos evoluídos, como é o caso do *Stock* Flores, podendo fornecer informações valiosas acerca das dinâmicas internas da câmara magmática a época da colocação do plutão, desse modo os *schlieren* em granitos vêm sendo objeto de intenso debate por vários pesquisadores. Dentre os vários modelos que explicam a gênese desses tipos de *schlieren* (Smith, 1975; Barrière, 1976, 1981; Irvine, 1980; Barbarin, 2005; Barbey, 2009; Farner & Lee, 2013) destaca-se, neste trabalho, o modelo proposto por Weinberg *et al.* (2001). Para aqueles autores, os *schlieren* elipsoidais são formados por convecção magmática em função da desestabilização térmica causada por plumas ter-

mais (Fig. 13A), estas por sua vez, surgem em função das diferentes densidades entre dois ou mais fluidos (Wilson, 1963; Griffiths, 1986; Campbell *et al.*, 1989; Weinberg *et al.*, 2001).

De acordo com o exposto, o presente trabalho propõe para a gênese dos *schlieren* elipsoidais do *Stock* Flores um processo de desestabilização térmica, que evoluiu para um fluxo magmático diferenciado (pluma termal), culminando em um processo convectivo dentro da câmara (Fig.13B).

Três hipóteses, similares àquelas de Weinberg *et al.* (2001) para o *pluton* de Tavares (PB), são aqui proposta para explicar o fator desencadeante dessa pluma térmica: i) uma série de magmas graníticos quentes liberados diretamente da fonte; ii) uma série de magmas graníticos aquecidos por uma intrusão magmática diorítica, ou; iii) assimilação de enclaves máficos.

Na área de estudo não foram encontradas evidências diretas das duas primeiras hipóteses. Assim, a terceira hipótese parece mais provável, levando em consideração que o fácies Tipo II encerra vários enclaves máficos, que podem ter sido a fonte de calor necessário para causar diferenças substanciais de densidades na câmara magmática, dando origem às plumas.

Apesar da pequena dimensão, o corpo estudado exibe várias estruturas que denotam o caráter dinâmico do fluxo magmático dentro da câmara, evidenciando que a homogeneidade durante a cristalização é aparente. Isso ocorre porque o registro desses processos é frequentemente, sobreposto por outros processos durante a evolução do granito.

As relações mineralógicas e microtexturais observadas (relações de inclusão, tipos de contatos entre os minerais, morfologia dos cristais, etc.), são indicativas de sequência de cristalização e de alguns dos processos magmáticos que ocorrem no decorrer da cristalização.

No estágio magmático, as primeiras fases a cristalizarem foram zircão, apatita, e allanita, seguindo-se a cristalização da titanita e minerais opacos primários. A próxima fase a cristalar-se, foi mais hidratada representada pela biotita, su-

gerindo o aumento da fH_2O , que foi seguida pela cristalização dos feldspatos e do quartzo (possivelmente com uma fase um pouco mais precoce de plagioclásio), formando o arcabouço geral da rocha. O estágio tardi-magmático é marcado pela alteração/desestabilização da biotita para clorita, muscovita e opacos, do plagioclásio para saussurita e carbonatos, bem como a cristalização tardia da fluorita. Estas alterações podem estar associadas a efeitos de fluidos hidrotermais tardi-magmáticos, onde a temperatura é abaixo da curva do *solidus*.

Figura 9. Diagramas utilizados na definição de séries magmáticas do *Stock Flores*, segundo vários autores. A) Total de álcalis versus sílica (Lameyre, 1987), linha tracejada, delimitando campos alcalinos e subalcalino, segundo Miyashiro (1978); B) R1 versus R2 (De La Roche et al., 1980); C) Rogers & Greenberg (1981); D) Wright (1969) com abscissas diferenciadas; E) Sylvester (1989); F) Frost et al. (2001).

Figure 9. Diagrams used in magmatic series definition of the *Flores stock*, according to several authors. A) Total alkalis versus silica (Lameyre, 1987), the dashed line delimiting fields alkali and subalkaline according Miyashiro (1978); B) R1 versus R2 (De La Roche et al., 1980); C) Rogers & Greenberg (1981); D) Wright (1969) with different abscissas; E) Sylvester (1989); F) Frost et al. (2001).

A ocorrência de cristais zonados de allanita e plagioclásio sugere que a cristalização fracionada foi um processo relevante na evolução do magma que deu origem ao *Stock Flores*. A presença de cristais precoces de titanita+magnetita+quartzo, em equilíbrio, é indicativa de fO_2 de moderada a

alta, acima do tampão FMQ (Wones, 1989). A cristalização de mineral hidratado (biotita) no início da diferenciação magmática é indicativa de que o magma gerador do *Stock Flores* era subsaturado em água. A alta fH_2O é corroborada pela presença de texturas pertíticas e mirmequíticas, visto que

essas são recorrentes em sistemas graníticos hidratados (Winter, 2001). Estas mesmas texturas, com destaque para a mirmequítica, são indicativas da ocorrência de uma fase fluída aquosa tardia atuante no sistema (Yuguchi & Nishiyama, 2007).

A presença de fluorita assinala a existência de conteúdo de voláteis no estágio *subsolidus*, sendo este mineral relativamente comum em granitos tipo-A (Collins *et al.*, 1982; Pitcher, 1983; Costi *et al.*, 2002; Kaur *et al.*, 2012).

Figura 10. Diagramas utilizados na definição de ambientes tectônicos para as rochas do *Stock Flores*. A) Rb versus Y+Nb (Pearce, 1996); B) Rb/30- Hf - Ta*3 (Harris *et al.*, 1986); C) Diagrama multielementos com envelope para granitos pós-colisionais (Pearce *et al.*, 1984); D) Al_2O_3 versus SiO_2 (Maniar & Piccoli, 1989).

Figure 10. Diagrams used in the definition of tectonic environments for rocks of the *Flores stock*. A) Rb versus Y+Nb (Pearce, 1996); B) Rb/30- Hf - Ta * 3 (Harris *et al.*, 1986); C) Diagram multi-element with envelope for post-collisional granites (Pearce *et al.*, 1984); D) Al_2O_3 versus SiO_2 (Maniar & Piccoli, 1989).

O caráter peraluminoso das rochas do *Stock Flores* está relacionado às baixas concentrações de CaO (0,64% - 1,32%) e, não necessariamente, às altas concentrações de Al_2O_3 (12,99% - 13,79%). Nos diagramas do tipo Harker as correlações observadas sugerem cogeneticidade entre as duas fácies do *stock*, tal qual sugerido pela petrografia. As correlações negativas exibidas pelos Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO, K_2O e Zr estão relacionadas ao fracionamento de biotita, minerais opacos, zircão, plagioclásio e K-feldspato durante a evolução dessas rochas. O Sr e o Ba apresentam dispersão com leve tendência a correlação negativa, sugerindo que esses elementos tiveram uma distribuição quase homogênea durante o processo de cristalização dos feldspatos

ao longo da evolução magmática.

O conteúdo total de ETR nas amostras analisadas, situa-se entre 122,6 ppm e 554,5 ppm, com espectros subpararelos entre si, que sugerem cogeneticidade entre as amostras das duas fácies do *Stock Flores*. O enriquecimento relativo de ETRL em relação aos ETRP, característico de rochas crustais, ocorre devido à incorporação dos ETR de maiores raios iônicos na fração líquida, distribuindo os ETRs predominantemente nos minerais acessórios (Figueiredo, 1985). Neste caso, o empobrecimento em ETRP sugere que tais elementos foram incorporados ao zircão durante o fracionamento do magma do *Stock Flores*. Outro fator em destaque é a marcante anomalia negativa de európio

indicativa do fracionamento dos feldspatos durante a evolução magmática. Este espectro dos ETRs,

assemelhando-se ao padrão tipo andorinha, é característico de granitos tipo-A.

Figura 11. Diagramas para classificação de tipologia de granitos. A) Eixos $\text{FeO}_T/(\text{FeO}_T + \text{MgO})$ versus $[(\text{Na}_2\text{O}/62 + (\text{K}_2\text{O}/94)) / (\text{Al}_2\text{O}_3/102)]$; B) Eixos $\text{Ga}/(\text{Al}_2\text{O}_3 * 0.52)$ versus $(\text{Zr} + \text{Y} + \text{Ce} + \text{Nb})$; C) $\text{FeO}_T/(\text{FeO}_T + \text{MgO})$ versus Al_2O_3 ; D) $\text{FeO}_T/(\text{FeO}_T + \text{MgO})$ versus $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O})$.

Figure 11. Diagrams of classification for typology of granites. A) Axes $\text{FeO}_T/(\text{FeO}_T + \text{MgO})$ versus $[(\text{Na}_2\text{O}/62 + (\text{K}_2\text{O}/94)) / (\text{Al}_2\text{O}_3/102)]$; B) Eixos $\text{Ga}/(\text{Al}_2\text{O}_3 * 0.52)$ versus $(\text{Zr} + \text{Y} + \text{Ce} + \text{Nb})$; C) $\text{FeO}_T/(\text{FeO}_T + \text{MgO})$ versus Al_2O_3 ; D) $\text{FeO}_T/(\text{FeO}_T + \text{MgO})$ versus $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O})$.

O espectro do diagrama multielementos evidenciou anomalias negativas para Nb, Sr, P e Ti, sugerindo fracionamento de plagioclásio, apatita e titanita. O padrão espectral geral da curva com inclinação negativa Ba-Yb sugere que o fracionamento magmático não sofreu mudanças significativas de condições de cristalização durante sua evolução, sugerindo novamente cogeneticidade entre as amostras das duas fácies do stock.

Nos diagramas discriminantes de séries e associações magmáticas as rochas do Stock Flores exibiram sistematicamente assinatura alcalina. No diagrama de Sylvester (1989) a transição das amostras do campo alcalino para o subdomínio dos granitos alcalinos similares a granitos calcioalcalinos fortemente fracionados, é explicada como o reflexo

de uma química calcioalcalina de alto potássio de rochas fontes, sendo essas rochas associadas com fusão da crosta média/inferior. O caráter alcalino das rochas do Stock Flores é coerente com as relações entre o stock e suas rochas encaixantes, uma vez que a presumível fonte do magma progenitor são rochas crustais granodioríticas de caráter calcioalcalino potássico presentes no Complexo Caicó (Souza *et al.*, 2007), dessa forma uma baixa taxa de fusão dessas rochas originariam magmas bastante evoluídos de assinatura alcalina (Sylvester, 1989).

O enquadramento do Stock Flores como representante de um magmatismo granítico tipo-A no âmbito do Domínio Rio Piranhas-Seridó é embasado tanto em suas características de campo (intrusão discordante em relação a tectônica regional

Brasileira/Panafricana), petrográficas (monzogranito hololeucocrático), quanto geoquímicas (conforme observado nos diagramas propostos por Dall'Agnol & Oliveira, 2007; Nardi & Bitencourt, 2009). No diagrama de Frost *et al.* (2001) as rochas que plotam no campo ferroso, caso das amostras do Stock Flores, são equiparadas aos granitos tipo-A, associados a fusão de crosta e usualmente relacionados com ambientes tectônicos pós-colisionais. Adicionalmente, o caráter tipo-A oxidado das rochas do Stock Flores está associado com as rochas progenitoras do magma as quais são, geralmente, rochas ígneas quartzo-feldspáticas de crosta inferior fundidas em condições oxidantes. Ressalta-se ainda que a presença de magnetita modal e hematita normativa nas rochas do Stock Flores

coaduna-se com este caráter de tipo-A oxidado.

A temperatura inicial deduzida para o magma progenitor do Stock Flores (*liquidus*) com base nos geotermômetros P_2O_5 versus SiO_2 (Watson & Harrison, 1984) e o método de saturação em Zr (Watson & Harrison, 1983), situa-se na faixa de 750°C a 860°C, considerando que apatita e zircão são fases magmáticas precoces na história evolutiva do Stock Flores. Essa estimativa é coerente com as temperaturas de magmas tipo-A determinadas experimentalmente, em geral $T > 800^\circ C$ (Clemens *et al.*, 1986; Scaillet & Pichavant, 1999). Por outro lado, as temperaturas relativas ao solidus, indicada pelos sistemas normativo Qz-Ab-Or, situam-se na faixa de 680°C, ou seja, bem próximas do eutético ternário granítico.

Figura 12. Diagramas para a obtenção das pressões e temperaturas das rochas do Stock Flores. A) Diagrama normativo para pressão (Tuttle & Bowen, 1958) exibindo distribuição dos dados entre 3 a 5 kbar de pressão; B) Diagrama normativo para temperatura (Luth *et al.*, 1964) exibindo distribuição dos dados na isoterma de 680°C; C) Diagrama P_2O_5 versus SiO_2 (Watson & Harrison, 1984) com as isothermas que refletem as temperaturas de cristalização das apatitas; D) Diagrama Zr versus $(Na+K+2Ca)/Al*Si$ (Watson & Harrison, 1983) com as isothermas que refletem as temperaturas de cristalização dos zircões.

Figure 12. Diagram for obtaining the pressure and temperature of the rocks Flores stock. A) Normative diagram for pressure (Tuttle & Bowen, 1958) showing data distribution between 3 and 5 kbar pressure; B) Normative diagram for temperature (Luth *et al.*, 1964) showing distribution of data in the isotherm 680°C; C) Diagram P_2O_5 versus SiO_2 (Watson & Harrison, 1984) with the isotherms reflecting the crystallization temperatures of apatite; D) versus Zr diagram $(Na + K + 2Ca) / Al * Si$ (Watson & Harrison, 1983) with the isotherms reflecting the crystallization temperatures of the zircons.

Com base em dados prévios (Maia, 2004), Nascimento *et al.* (2015) classificaram o *Stock Flores*, como pertencente a suíte Calcioalcalina de alto K Equigranular, entretanto os dados aqui apresentados nos permitem associá-lo com a suíte Alcalina dos referidos autores. Considerando que o *Stock Flores* encontra-se em um domínio geológico distinto da reconhecida suíte Alcalina de Nascimento *et al.* (2015), é possível resguardar algumas diferenças, destacando-se: i) petrograficamente as rochas da suíte Alcalina de Nascimento *et al.* (2015) são granitos alcalinos *stricto sensu* por apresentarem clinopiroxênio tipo aegirina augita, e o plagioclásio é albita com $An_{0-9\%}$, acarretando em composições nos campos dos quartzo álcali feldspato sienito, álcali feldspato granito e sienogranitos. Por seu lado, as rochas do *Stock Flores* são essencialmente monzogranitos hololeucocráticos com biotita < 5% modal; ii) no contexto geoquímico as rochas da suíte Alcalina de Nascimento *et al.* (2015) são mais enriquecidas em Al_2O_3 , Na_2O , Ba e Sr, do que as rochas do *Stock Flores*, refletindo

principalmente as composições albiticas dos plagioclásios, e mais empobrecidas em Rb. Os teores de K_2O são mais restrito no *Stock Flores* (entre 5-6%) e com mais ampla variação nos demais alcalinos (3,5-7,5%; fig. 14); iii) nas relações de campo os alcalinos (Nascimento *et al.* 2015) mostram uma íntima associação com zonas de cisalhamento, caracterizando-os como corpos sintectônicos a estas estruturas relacionadas a orogenia Brasileira / Panafricana (Nascimento, 1998; Hollanda *et al.*, 1999; Nascimento *et al.*, 2000), enquanto o *Stock Flores* não é associado a nenhuma zona de cisalhamento dúctil. As idades relatadas para a suíte alcalina situam-se entre 585-600 Ma mostrando o caráter sintectônico no contexto da orogenia Brasileira / Panafricana, por sua vez, o *Stock Flores* com idade de 553 Ma (Souza *et al.*, 2015) é tardi a pós-tectônico. Diante do exposto o presente trabalho sugere que o *Stock Flores* seja reclassificado como pertencente a suíte Alcalina de Nascimento *et al.* (2015).

Figura 13. Modelo para a gênese dos *schlieren* elipsoidais. A) Modelo de convecção magmática causada por pluma magmática (modificado de Weinberg *et al.*, 2001); B) Bloco diagrama idealizado para as estruturas elipsoidais do *Stock Flores*.

Figure 13. Model for the genesis of the ellipsoidal schlieren. A) Magmatic convection model caused by magmatic plume (modified Weinberg *et al.*, 2001); B) Block diagram idealized for the ellipsoidal structures of the Flores stock.

5 Conclusões

O *Stock Flores* (553 ± 4 Ma; Souza *et al.*, 2015) intrude rochas gnáissicas paleoproterozoicas e suas feições de campo o definem como um *stock* a tardi a pós-tectônico no contexto da orogênese Brasileira / Panafricana. Compreende essencialmente monzogranitos hololeucocráticos equigranulares, com biotita como mineral máfico dominante. Contém enclaves de rochas dioríticas que exibem evidências de coexistência e mistura parcial de magmas além de enclaves do tipo *schlieren* elipsoidais indicativos de processos de desequilíbrio térmico/gravitacional durante a cristalização e evolução do magma. Este desequilíbrio é relacio-

nado a plumas térmicas e/ou correntes de convecção na câmara magmática. Desse modo, a história evolutiva do magma do *Stock Flores* não é marcada por uma cristalização em equilíbrio contínua e homogênea, mas sim por uma soma de processos que se alternam na câmara magmática resultando em diferentes estruturas observáveis.

Os processos de carbonatação e saussuritização nos plagioclásios indicam a atuação de fluídos tardi-magmáticos com fCO_2 e fH_2O . Tais fluídos colaboraram ainda para a desestabilização da biotita para clorita+opacos, podendo ainda ter contribuído para o desenvolvimento das texturas mirmequíticas, pertíticas e granofíricas, esta última típica de granitos hipoabissais. As condições

de fO_2 podem ser inferidas de moderadas a altas com base na presença da paragênese mineral

titanita+magnetita+quartzo (Wones, 1989).

Figura 14. Diagramas binários de variação para elementos maiores e menores com os campos dos granitos alcalinos (polígonos tracejados) segundo Nascimento *et al.* (2015) e plote das amostras do Stock Flores. A) SiO_2 versus Al_2O_3 ; B) SiO_2 versus Na_2O ; C) SiO_2 versus K_2O ; D) SiO_2 versus Ba; E) SiO_2 versus Rb; F) SiO_2 versus Sr.

Figure 14. Diagrams of binary variation for major and minor elements with fields of alkaline granites (dashed polygons) according Nascimento *et al.* (2015) and plot of samples of the Flores Stock. A) SiO_2 versus Al_2O_3 ; B) SiO_2 versus Na_2O ; C) SiO_2 versus K_2O ; D) SiO_2 versus Ba; E) SiO_2 versus Rb; F) SiO_2 versus Sr.

Apesar do caráter evoluído das rochas do *Stock Flores* ($\text{SiO}_2 \geq 71\%$), o que usualmente dificulta uma melhor definição da filiação magmática de tais rochas, os dados geoquímicos apresentados mostram que as rochas deste granitoide são peraluminosas, com assinatura essencialmente alcalina, em consonância com os dados de química mineral de biotita apresentados por Galindo *et al.* (2012). Esta assinatura alcalina para o *Stock Flores* o classifica como um granito tipo-A do subtipo oxidado.

Os parâmetros relativos às condições de cristalização (P , T e $f\text{O}_2$) do magma que deu origem ao *Stock Flores*, equacionados a partir de dados mineralógicos e químicos, indicam temperatura *liquidus* da ordem de 800°C (geotermômetros de apatita e zircão), e *solidus* em torno de 680°C (geotermômetro do sistema Qz-Ab-Or). A fugacidade de oxigênio moderada a elevada foi estabelecida com base em dados mineralógicos petrográficos, normativo-CIPW, e a partir de química mineral de biotita.

A partir da temperatura indicada para o *liquidus* (800°C), associadas com os dados de geocronológicos de $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ em biotita de 504 ± 4 Ma (Moraes Neto, 2009) e U-Pb em zircões de 553 ± 4 Ma (Souza *et al.*, 2015), foi possível calcular a taxa de resfriamento do *Stock Flores*. Considerando que a temperatura de fechamento da biotita é em torno de 300°C e a do zircão é em torno de 800°C tem-se, assim um período de 50 Ma para resfriar 500°C , o que resulta em uma taxa de resfriamento linear de $10^\circ\text{C}/\text{Ma}$.

Com base nas pressões de 3,0 e 5,0 kbars, estimadas a partir do sistema Qz-Ab-Or, e uma densidade média de $2,65 \text{ Kg}/\text{m}^3$ (Maia, 2004), pode-se inferir a partir da equação $P = \rho g h$ (Batchelor, 2000) uma profundidade de alojamento do *Stock Flores* entre 11,6 km e 19,2 km.

Agradecimentos. Este artigo é parte da dissertação de mestrado da primeira autora, junto ao Programa de Pós-graduação em Geodinâmica e Geofísica da Universidade Federal do Rio Grande do Norte que agradece à CAPES pela concessão de bolsa de estudos.

Referências

- Almeida, F.F.M., Hasuy, Y., Brito Neves, B.B. & Fuck, R.A. 1977. Províncias estruturais brasileiras. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 8., 1977, Campina Grande. *Atas...* Campina Grande, SBG, v.6, p.363-391.
- Almeida, F.F.M., Brito Neves B.B. & Fuck R.A. 1981. Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17: 1-29.
- Almeida, A.F.M., Leonardos, O.H. & Valença, J. 1967. Review on granitic rocks of Northeast South America. In: INTERNATIONAL UNION GEOLOGICAL SCIENCES SYMPOSIUM, 1., 1967, Recife. *Atas...* Recife, UNESCO, v. 1, p. 41.
- Barbarin, B. 2005. Mafic magmatic enclaves and mafic rocks associated with some granitoids of the central Sierra Nevada batholith, California: nature, origin and relations with the hosts. *Lithos*, 80: 155-177.
- Barbey, P. 2009. Layering and schlieren in granitoids: A record of interactions between magma emplacement, crystallization and deformation in growing plutons. *Geologica Belgica*, 12: 109-133.
- Barrière, M. 1976. Flowage differentiation: limitation of the "Bagnold effect" to narrow intrusions. *Contribution to Mineralogy and Petrology*, 55: 139-145.
- Barrière, M. 1981. On curved laminae, graded layers, convection currents and dynamic crystal sorting in the Ploumanac'h (Brittany) subalkaline granite. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 77: 217-224.
- Blundy, J. & Cashman, K. V. 2001. Ascent-driven crystallisation of dacite magmas at Mount St. Helens, 1980-1986. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 140: 631-650.
- Blundy, J.D. & Holland, T.J.B. 1990. Calcic amphibole equilibria and a new amphibole-plagioclase geothermometer. *Contributions Mineral and Petrology*, 104: 208-224.
- Bowen, N.L. 1915. The later stages of the evolution of the igneous rocks. *Journal of Geology*, 23: 1-89.
- Brito Neves, B.B. & Pessoa, R.J.R. 1974. Considerações sobre as rochas graníticas do nordeste oriental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28., 1974 Porto Alegre, *Anais...* Porto Alegre, SBG, v. 4, p. 143-157.
- Brito Neves, B.B., Van Schmus, W.R., Santos, E.J., Campos Neto, M.C. & Kozuch, M. 1995. O evento Cariris Velhos na Província Borborema. *Revista Brasileira de Geociências*, 25(4): 279-296.
- Campbell, I.H., Griffiths, R.W. & Hill, R.I. 1989. Melting in an Archaean mantle plume: Head it's basalts, tail it's komatiites. *Nature*, 339: 697-699.
- Cavalcante, R. Galindo, A.C., Silva, F.C.A. & Souza, R.F. 2014. Química mineral e condições de cristalização do Plúton Granítico Barcelona, extremo nordeste da Província Borborema, Nordeste do Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 41(3): 257-272.
- Clemens, J.D., Holloway, J.R. & White, A.J.R. 1986. Origin of an A-type granite: experimental constraints. *American Mineralogist*, 71: 371-324.
- Collins, W.J., Beams, D., White, J.R., Chappell & B.W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to south-eastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 80: 189-200.
- Costi, H.T., Dall'Agnol, R., Borges, R.M.K., Minuzzi, O.R.R. & Teixeira, J.T. 2002. Tin-bearing sodic episyenites associated with the Proterozoic, A-Type Água Boa Granite, Pitinga Mine, Amazonian Craton, Brazil. *Gondwana Research*, 5: 435-451.
- Dall'Agnol, R. & Oliveira, D.C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of

- A-type granites. *Lithos* 93: 215-233.
- De La Roche, H., Leterrier, J., Granclaude, P. & Marchal, M. 1980. A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagram and major element analyses. Its relationship with current nomenclature. *Chemical Geology*, 29: 183-210.
- Delgado, I.M., Souza, J.D., Silva, L.C., Silveira Filho, N.C., Santos, R.A., Pedreira, A.J., Guimarães, J.T., Angelim, L.A.A., Vasconcelos, A.M., Gomes, I.P., Lacerda Filho, J.V., Valente, C.R., Perrotta, M.M. & Heineck C.A. 2003. Geotectônica do Escudo Atlântico. In: Bizzi, L.A. (Ed). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, mapas e SIG*. Brasília, CPRM, p. 227-234.
- Didier, J. * Barbarin, B. (Eds.), 1991. *Enclaves and Granite Petrology, Developments in Petrology*. Vol. 13, Amsterdam, Elsevier, 625p.
- Evensen, N.H., Hamilton, P.J. & O'Nions, R.K. 1978. Rare earth abundances in condritic meteorite. *Geochimica et Cosmochimica*, 42 (8): 1199-1212.
- Farner, M.J. & Lee, C. T. A. 2013. A late-stage origin for schlieren in felsic plutons. *GSA Abstracts*, 45: 7.
- Figueiredo, M., 1985. Introdução à geoquímica dos Elementos Terras Raras. *Boletim IG-USP*, 16: 15-31.
- Frost, B.R., Barnes, C.G., Collins, W.J., Arculus, R.J., Ellis, D.J. & Frost, C.D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of Petrology*, 42: 2033-2048.
- Galindo, A.C. 1993. *Petrologia dos granitóides brasileiros da região de Caraúbas-Umarizal, oeste do Rio Grande do Norte*. Belém, 370p. Tese de Doutorado, Programa de Pós graduação em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade do Pará.
- Galindo, A.C., Dall'Agnol, R., McReath, I., Lafon, J.M. & Teixeira, N. 1995. Evolution of Brasiliano age granitoid types in a shear-zone environment, Umarizal-Caraúbas region, Rio Grande do Norte, northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 8: 79-95.
- Galindo, A.C., Dall'Agnol, R., McReath, I., Leterrier, J. & Nascimento, M.A.L. 1997a. Granitóide Quixaba: um magmatismo monzonítico (shoshonítico?) no extremo oeste da Faixa Seridó. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., 1997, Fortaleza. *Atas...* Fortaleza, SBG, v. 1, p. 268-272.
- Galindo, A.C., Jardim de Sá, E.F., Nascimento, R.S.C., Hollanda, M.H.B.M., Nascimento, M.A.L. & Lardeaux, J.M. 1997b. Caracterização geoquímica e contexto geodinâmico dos granitóides alcalinos na porção oriental da Faixa Seridó (RN-PB). In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 15., 1997, Fortaleza. *Atas...* Fortaleza, SBG, v.1, p. 263-267.
- Galindo, A.C., Silva, F.C.A. & Souza, Z.S. 2012. Química Mineral de leucomicrogranitos Neoproterozoicos do Domínio Rio Grande do Norte. *Geochimica Brasiliensis*, 26: 19-28.
- Griffiths, R.W. 1986. Thermals in extremely viscous fluids, including the effects of temperature-dependent viscosity. *Journal of Fluid Mechanics*, 166: 115-138.
- Harris, N.B.W., Pearce, J.A. & Tindle, A.G. 1986. Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: Coward, M. P., Ries, A. C. (Eds.). *Collision tectonics. Geological Society Special Publication*, 19: 67-81.
- Hibbard, M.J. 1995. *Petrography to Petrogenesis*. New Jersey, Prentice Hall, p. 587.
- Hollanda, M.H.B.M. 1998. *Mecanismos de alojamentos de magmas granitóides: exemplo do Plúton de Japi (RN)*. Natal, 126p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Hollanda, M.H.B.M., Sá, E.F.J., Galindo, A.C. & Souza, Z.S. 1999. Shear zone control on the emplacement of granitoid magmas: an example from Japi Complex, Seridó Belt, NE-Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 29(1): 41-46.
- Irvine, T.N. 1980. Magmatic density currents and cumulus processes. *American Journal of Science*, 280-A: 1-58.
- Jardim de Sá, E. F. 1984. Geologia da região do Seridó: reavaliação de dados. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 11., Natal, Resumo Expandido... Natal, SBG, v. 2, p. 143-144.
- Jardim de Sá, E.F. 1994. *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana*. Brasília, 803p. Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade de Brasília.
- Jardim de Sá, E.F. & Salim, J. 1980. Reavaliação dos conceitos estratigráficos na região do Seridó (RN-PB). *Mineração e Metalurgia*, 80: 16-28.
- Jardim de Sá, E.F., Legrand, J.M. & McReath, I. 1981. "Estratigrafia" de rochas granitóides na região do Seridó (RN-PB) com base em critérios estruturais. *Revista Brasileira de Geociências*, 11: 50-57.
- Kaur, P., Chaudhri N., Hofmann, A.W., Raczek, I., Okrusch, M., Skora, S. & Baumgartner, L.P. 2012. Two-stage, extreme albitization of A-type granites from Rajasthan, NW India. *Journal of Petrology*, 53: 919-948.
- Lameyre, J. 1987. Granites and evolution of the crust. *Revista Brasileira de Geociências*, 17(4): 349-359.
- Le Maitre, R.W. 2002. *Igneous Rocks: a classification and glossary of terms*. Cambridge, University Press, 236p.
- Loiselle, M.C. & Wones, D.R. 1979. Characteristics and origin of anorogenic granites. *Geological Society of America*, 11: 468.
- Luth, W.C., Jahns, R.H. & Tuttle, O.F. 1964. The granite system at pressures of 4 to 10 kilobars. *Journal of Geophysical Research*, 69(4): 759-773.
- Maia, S.M.C. 2004. *Estudo integrado geológico-tecnológico de rochas ornamentais: os granitos Flores e Jacarandá, RN*. Natal, 75p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Maniar, P.D. & Piccoli P.M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101: 635-643.
- Mariano, G. & Sial, A.N. 1990. Coexistence and mixing of magmas in the late precambrian Itaporanga batholith, state of Paraíba, northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 20(11): 101-110.
- Miyashiro, A., 1978. Nature of alkalic volcanic rock se-

- ries. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 66: 91-104.
- Morais Neto, J.M. 2009. *Thermochronology, landscape evolution and denudational history of the eastern Borborema Province, northeastern Brazil*. PhD Thesis, School of Earth Sciences. University of Queensland.
- Nardi, L.V.S. & Bitencourt, M.F. 2009. A-type granitic rocks in post-collisional settings in southernmost Brazil: their classification and relationship with tectonics and magmatic series. *Canadian Mineralogist*, 47(60): 1493-1503.
- Nascimento, R.S.C. 1998. *Petrologia dos Granitóides Brasileiros associados a Zona de Cisalhamento Remígio-Pocinhos (PB)*. Natal, 133p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Nascimento, M.A.L., Antunes, A.F., Galindo, A.C., Jardim de Sá, E.F. & Souza, Z.S. 2000. Geochemical signatures of the Brasiliano-age plutonism in the Seridó belt, Northeastern Borborema Province (NE Brazil). *Revista Brasileira de Geociências*, 30: 161-164.
- Nascimento, M.A.L., Medeiros, V.C. & Galindo, A.C. 2008. Magmatismo Ediacarano a Cambriano no Domínio Rio Grande do Norte, Província Borborema, NE do Brasil. *Estudos Geológicos*, 18: 4-29.
- Nascimento, M.A.L., Galindo, A.C. & Medeiros, V.C. 2015. Ediacaran to Cambrian magmatic suites in the Rio Grande do Norte domain, extreme Northeastern Borborema Province (NE of Brazil): Current knowledge. *Journal of South American Earth Science*, 58: 281-299.
- Nascimento, R.S.C. 1998. *Petrologia dos Granitóides Brasileiros associados a Zona de Cisalhamento Remígio-Pocinhos (PB)*. Natal, 133p. Dissertação de Mestrado, Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica, Centro de Ciências Exatas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Pearce, J.A. 1996. Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19: 120-125.
- Pearce, J.A., Harris, N.B.W. & Tindle, A.G. 1984. Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks. *Journal of Petrology*, 25(4): 956-983.
- Pitcher, W.S. 1983. Granites: typology, geologic environment and melting relationships. In: Atherton, M.P. & Gribble, C.D. (Ed). *Migmatites. Melting and Metamorphism*. Nantwich, Shiva, p. 277-285.
- Rogers, J.J.W. & Greenberg, J.K. 1981. Trace elements in continental margin magmatism. Part III. Alkali granites and their relationship to cratonization. *Bulletin Geological Society of America*, 92: 6-9.
- Santos, E.J. 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39., 1996, Salvador. *Atas...* Salvador, SBG, v. 7, p. 47-50.
- Santos, E.J. 1999. Belém do São Francisco, folha SC.24-X-A: Estados de Pernambuco, Alagoas e Bahia. Programa de Levantamentos Geológicos do Brasil. Brasília: CPRM. CD-ROM.
- Santos, E.J. & Medeiros V.C. 1999. Constraints from granitic plutonism on proterozoic crustal growth of the Transverse Zone, Borborema Province, NE-Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 29: 73-84.
- Santos, E.J. dos, & Melo, C.B.M. 1978. Diversidade do plutonismo granítico do nordeste. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30., 1978, Recife. *Anais...* Recife, SBG, v.6, p. 2624-2634.
- Santos, E.J., Brito Neves, B.B., Van Schmus, W.R., Oliveira, R.G. & Medeiros, V.C. 2000. An overall view on the displaced terrane arrangement of the Borborema Province, NE Brazil. In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 31., 2000, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro, SBG, 1 CD-ROM.
- Scailliet, B. & Pichavant, M. 1999. An experimental study of a lower proterozoic A-type granite from the eastern Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Petrology*, 40(11): 1673-1698.
- Schmidt, M.W. 1992. Amphibole composition in tonalite as a function of pressure: an experimental calibration of the Al-in-hornblende barometer. *Contributions Mineral and Petrology*, 110: 304-310.
- Sial, A.N. 1987. Granitic rocks in northeast Brazil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON GRANITES AND ASSOCIATED MINERALIZATIONS, 1., 1987, Salvador, *Anais...* Salvador, SGRN, v. 1, p. 61-69.
- Smith, T.E. 1975. Layered granitic rocks at Chebutco Head, Halifax County, Nova Scotia. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 12: 456-463.
- Souza, Z.S., Martin, H., Peucat, J., Jardim de Sá, E.F. & Macedo, M.H.F. 2007. Calc-Alkaline Magmatism at the Archean-Proterozoic Transition: the Caicó Complex Basement (NE Brazil). *Journal of Petrology*, 48: 2149-2185.
- Souza, Z.S., Kalsbeek, F., Xiaodong, D., Li, J.W., Frei, R., Kokfelt, T.F., Dantas, E.L., Jianwei, I., Pimentel, M.M. & Galindo, A.C. 2015. Generation of continental crust in the northern part of the Borborema Province, northeastern Brazil, from Archean to Neoproterozoic. *Journal of South American Earth Sciences*, 1: 1-29.
- Streckeisen, A.L. 1976. To each plutonic rock it's a proper name. *Earth Science Reviews*, 12: 1-33.
- Sylvester, P.J. 1989. Post-collisional alkaline granites. *Journal of Geology*, 97: 261-280.
- Thompson, R.N. 1982. Magmatism of the British tertiary volcanic province. *Scott. Journal Geology*, 18: 49-107.
- Tuttle, O. F. & Bowen, N. L. 1958. Origin of granite in the light of experimental studies in system NaAlSi₃O₈ - KAlSi₃O₈ - SiO₂ - H₂O. *Geological Society of America Memoirs*, 74: 153.
- Van Schmus, W.R., Brito Neves, B.B., Hackspacher, P.C. & Babinski, M. 1995. U-Pb and Sm-Nd geochronological studies of the Eastern Borborema Province, Northeastern Brazil, initial conclusions. *Journal of South American Earth Sciences*, 8(3-4): 267-288.
- Vernon, R.H. 1990. Crystallization and hybridism in microgranitoid enclave magmas: microstructural evidence. *Journal of Geophysical Research*, 95: 17849-17859.

- Vernon, R.H. 2004. *A Practical Guide to Rock Microstructure*. Cambridge, University Press, p. 594.
- Watson, E.B. & Harrison, T.M. 1983. Zircon saturation revisited: temperature and composition effects in a variety of crustal magma types. *Earth and Planetary Science Letters*, 64: 295-304.
- Watson, E.B. & Harrison, T.M. 1984. Accessory minerals and the geochemical evolution of crustal magmatic system: a summary and prospectus of experimental approaches. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 35: 19-30.
- Weinberg, R.F., Sial, A.N. & Pessoa, R.R. 2001. Magma flow within the Tavares pluton, northeastern Brazil: compositional and thermal convection. *Geological Society of America Bulletin*, 113: 508-520.
- Wilson, J. T. 1963. A possible origin of the Hawaiian Islands. *Canadian Journal of Physics*, 41: 863-870.
- Winter, J.D. 2001. *Principles of Igneous and Metamorphic Petrology*. New Jersey, Prentice Hall, 697p.
- Wones, D. R. 1989. Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *American Mineralogist*, 74: 744-749.
- Wright, J.B. 1969. A simple alkalinity ratio and its application to questions of non-orogenic granite genesis. *Geological Magazine*, 106: 370-384.
- Yuguchi, T. & Nishiyama, T. 2007. Cooling process of a granitic body deduced from the extents of exsolution and deuterite sub-solidus reactions: Case study of the Okueyama granitic body, Kyushu, Japan. *Lithos*, 97: 395-421.
- Zorpi, M.J., Coulon, C., Orsini, J.B. & Cocirca, C. 1989. Magma mingling, zoning and emplacement in calc-alkaline granitoid plutons. *Tectonophysics*, 157: 315-329.

Manuscrito 607

Editores: Lauro V. S. Nardi & Paulo A. Souza