

O *Stock* Serra da Acauã: um exemplo de granito tipo I fracionado oxidado no Domínio Rio Piranhas-Seridó, NE do Brasil

The Serra da Acauã Stock: an example of oxidized fractionated type I granite in the Piranhas-Seridó River Domain (PSD), NE of Brazil

Mateus de Araújo Silva¹ , Antonio Carlos Galindo¹ ,

Raquel Franco de Souza¹ , Rogério Cavalcante² , Vladimir Cruz de Medeiros² 

¹Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica - CCET/PPGG, Campus Universitário, 3.000, Lagoa Nova, Caixa Postal 1.500, CEP 59078-970, Natal, RN, BR (dearaujosilvamateus@gmail.com; galindo@geologia.ufrn.br; raquel@geologia.ufrn.br)

²Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais - CPRM (Serviço Geológico do Brasil), Natal, RN, BR (rogerio.cavalcante@cprm.gov.br; vladimir.medeiros@cprm.gov.br)

Recebido em 19 de junho de 2018; aceito 31 de maio de 2019

Resumo

O *Stock* Serra da Acauã está inserido no contexto da atividade plutônica ediacarana, uma das mais importantes feições geológicas na Província Borborema, Nordeste do Brasil. O corpo está dividido em duas fácies: uma equigranular fina a média e outra inequigranular média a fracamente porfírica com fenocristais de K-feldspato. Determinações U-Pb em zircão apontaram uma idade ediacarana de c.a 578 Ma para a sua cristalização. Petrograficamente, o *stock* consiste de um biotita monzogranitos hololeucocráticos a leucocráticos ($M = 1,3 - 9,9\%$), com biotita sendo o máfico principal (0,5 a 8,1%). Minerais opacos, titanita, allanita, apatita e zircão são acessórios e as fases minerais mais precoces. As rochas que formam o *stock* são geoquimicamente similares, de caráter fracamente peraluminoso ($1,00 \leq A/CNK \leq 1,04$), com coríndon normativo e de assinatura transicional entre rochas alcalinas e calcioalcalinas. A variação do conteúdo de óxidos e elementos traço sugere o fracionamento de plagioclásio, biotita, titanita, apatita e magnetita durante a cristalização do magma. O diagrama para elementos terras raras mostra enriquecimento dos elementos terras raras leves em relação aos elementos terras raras pesados, com razões La_N/Yb_N entre 16,10 e 54,75, e anomalias negativas de Eu (Eu/Eu^* de 0,66 a 0,90) compatíveis com fracionamento de plagioclásio. Dados referentes à temperatura de saturação de zircão somados a diagramas discriminantes geoquímicos permitem associar essas rochas a granitos tipo I altamente fracionados. O conjunto de dados permite correlacionar o magmatismo no contexto de granitoides calcioalcalinos de alto potássio, tardi a pós-tectônicos do Domínio Rio Piranhas-Seridó.

Palavras-chave: Plutonismo ediacarano; Domínio Rio Piranhas-Seridó; *Stock* Serra da Acauã; Petrologia.

Abstract

The Serra da Acauã Stock is inserted in the context of Ediacaran plutonic activity, one of the most important geological features of the Borborema Province, NE of Brazil. The body is divided into two facies: one fine to medium equigranular and other medium to weakly porphyritic unequigranular with K-feldspar phenocrysts. U-Pb determinations in zircon indicated an ediacaran age of c. 578 Ma for its crystallization. Petrographically, the stock consists of hololeucocratic to leucocratic biotite-monzogranites ($M = 1.3\% - 9.9\%$), with biotite being the main mafic (0.5 to 8.1%). Opaque minerals, titanite, allanite, apatite and zircon are accessories and the earliest mineral phases. Geochemically, the rocks that form the stock are similar, with a weakly peraluminous character ($1.00 \leq A / CNK \leq 1.04$), with normative corundum and transition signature between alkaline and calc-alkaline rocks. The variation of the amount of oxides and trace elements suggests the fractionation of plagioclase, biotite, titanite, apatite and magnetite during crystallization of magma. The diagram for the rare earth element (REE) groups shows the enrichment of the LREE relative to the HREE, with the La_N/Yb_N ratios between 16.10 and 54.75, and negative anomalies of Eu (Eu/Eu^* of 0.66 to 0.90) compatible with plagioclase fractionation. Data related to the temperature of zircon saturation added to geochemical discriminant diagrams have the potential to associate these rocks to a highly fragmented type I granites. The data set allows correlating the magmatism in the context of high-K calc-alkaline granites, late to post-tectonics of Piranhas-Seridó River Domain.

Keywords: Ediacaran plutonism; Rio Piranhas-Seridó Domain; Serra da Acauã Stock; Petrology.

INTRODUÇÃO

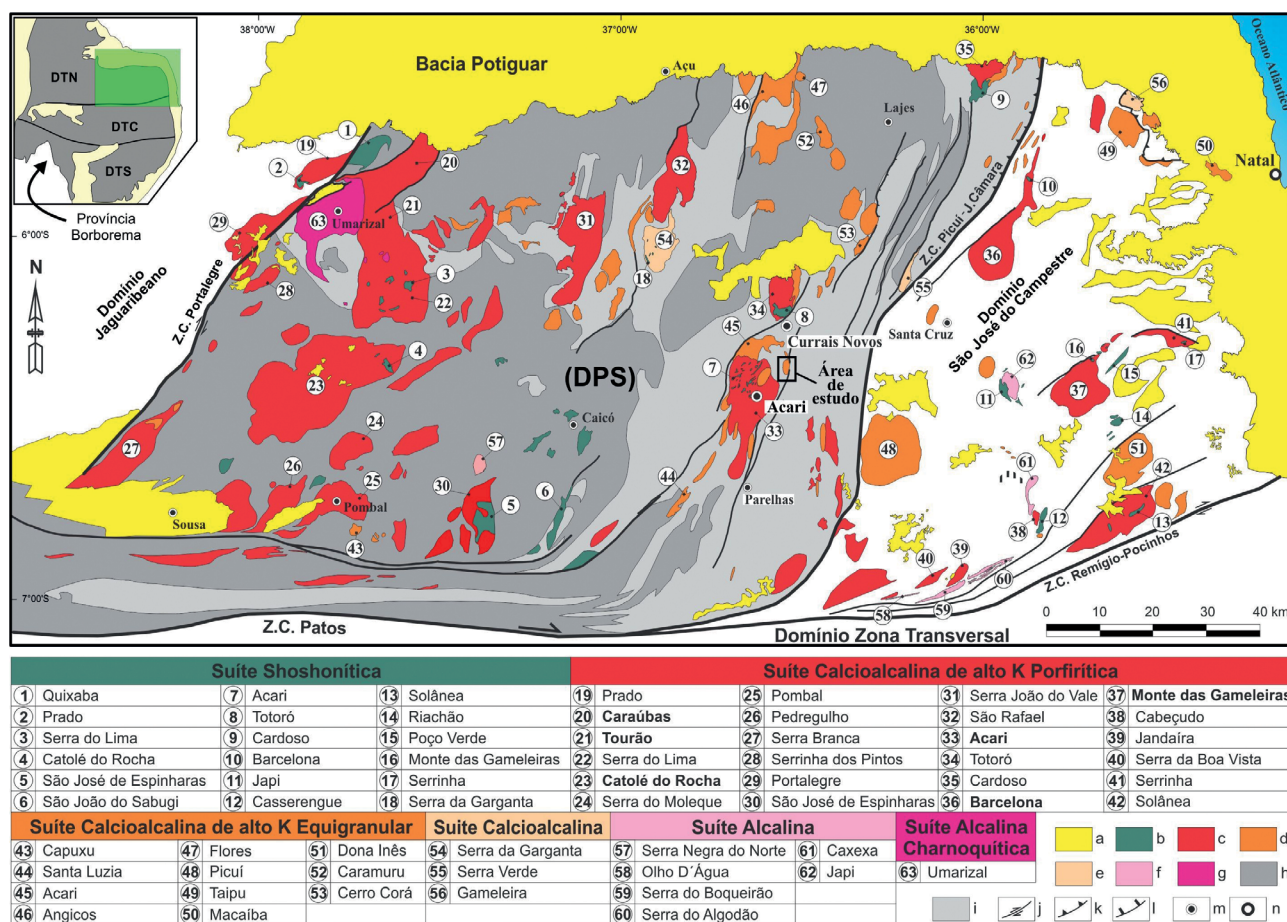
Um abundante magmatismo plutônico ediacarano, juntamente com uma intensa trama de zonas de cisalhamento (na sua grande maioria com transcorrências de cinemática dextral) são considerados as mais importantes feições geológicas da Província Borborema (PB) (Almeida et al., 1981), Nordeste do Brasil. No Domínio Rio Piranhas-Seridó (DPS), extremo nordeste da referida província, esse magmatismo é representado por uma série de corpos/plutões sin a pós-orogênicos compoendo batólitos, *stocks* e diques, contexto no qual se insere o *Stock* Serra da Acauã (SSA). Embora existam notáveis contribuições nos últimos anos relacionadas a tal magmatismo (Nascimento et al., 2015; Macêdo Filho e Souza, 2016; Campos et al., 2016; Silva, 2016; Souza et al., 2016; Souza et al., 2017), alguns corpos necessitam de estudos petrológicos e geoquímicos mais detalhados. O estudo

integrado do SSA (geologia, petrografia, geocronologia e geoquímica) pode trazer informações importantes para uma melhor compreensão/discussão acerca do magmatismo granítico ediacarano no contexto do DPS.

GEOLOGIA REGIONAL

Diversos modelos de compartimentação tectônica foram elaborados para a PB, definida por Almeida et al. (1981), Jardim de Sá (1994), Santos (1995, 1999), Van Schmus et al. (1997), Bizzi et al. (2003), Delgado et al. (2003) e Medeiros et al. (2017). Nos trabalhos citados, os autores tomaram por base tanto a subdivisão da PB em faixas dobradas/supracrustais como em maciços medianos, ou em domínios estruturais.

Angelim et al. (2006) definiram o DPS na porção setentrional da PB (Figura 1). Esse domínio é composto de um



DTN: Domínio Tectônico Norte; DTC: Domínio Tectônico Central; DTS: Domínio Tectônico Sul; DPS: Domínio Rio Piranhas-Seridó; a: coberturas mesocenoicas; b: Suíte Shoshonítica; c: Suíte Cálcio alcalina de alto K porfírica; d: Suíte Calcioalcalina de alto K equigranular; e: Suíte Cálcio-alcalina; f: Suíte Alcalina; g: Suíte Alcalina Charnoquítica; h: Embasamento gnaissicomicmatítico paleoproterozoico; i: Grupo Seridó; j: zonas de cisalhamento transcorrentes neoproterozoicas; k: zonas de cisalhamento contracionais-transpressivas neoproterozoicas; l: zonas de cisalhamento extensionais neoproterozoicas; m: cidades; n: capital do estado. Fonte: modificado de Nascimento et al. (2015).

Figura 1. Arcabouço geológico do Domínio Rio Piranhas-Seridó, com ênfase no magmatismo ediacarano a cambriano.

embasamento gnáissico-migmatítico, com rochas riacia-nas (Complexo Caicó e Suíte Poço da Cruz) e por algumas ocorrências de idades neoarqueanas (Cavalcante et al., 2018) e estaterianas (Hollanda et al., 2011; Medeiros et al., 2012; Costa et al., 2015; Medeiros et al., 2017). Sobre elas repousa um conjunto de rochas supracrustais, de natureza metavulcanossedimentar de idade neoproterozoica, o chamado Grupo Seridó. Intrudindo as unidades supracitadas há dezenas de batólitos, *stocks* e diques associados a um intenso plutonismo granítico brasileiro/panafricano, a exemplo do próprio SSA.

O Complexo Caicó é composto predominantemente por sequências de rochas metaplutônicas (ortognaisses migmatizados graníticos a dioríticos, com quimismo calcioalcalino de alto K, e anfíbolitos) e metavulcanossedimentares (mármore, quartzitos, kinzigitos e gnaisses calcissilicáticos), cortadas por *augen* gnaisses e diques máficos a ultramáficos (anfíbolito e hornblendito), incluindo metaleucogabros (Jardim de Sá et al., 1988; Hackspacher et al., 1990; Souza et al., 1993, 2007, 2016; Hollanda et al., 2011). Por sua vez, a suíte Poço da Cruz (Ferreira et al., 1998) engloba principalmente *augen* ortognaisses de natureza quartzo monzonítica a granítica, de textura grossa a muito grossa, de afinidade geoquímica com granitoides calcioalcalinos de alto K.

Dados de U-Pb em zircão obtidos por Archanjo e Hollanda (2015) revelaram idades de cristalização de 2227 ± 5 Ma para as metaplutônicas/ortognaisses migmatizados, e de 2184 ± 16 Ma e 2189 ± 11 Ma para os *augen* gnaisses do Complexo Caicó. Esses autores ainda sugeriram idades U-Pb de 1750 ± 12 Ma para a cristalização dos *augen* gnaisses grossos da região sul de Serra Negra (Rio Grande do Norte), indicando, por sua vez, um prolongamento da atividade magmática para o Estateriano. Essas idades estão em conformidade com aquelas obtidas em trabalhos anteriores (Legrand et al., 1991; Dantas, 1992; Hollanda et al., 2011; Medeiros et al., 2012).

Segundo Jardim de Sá (1994), o Grupo Seridó está dividido em três unidades litoestratigráficas, sendo elas, da base para o topo: Formação Jucurutu, Formação Equador e Formação Seridó. O autor supracitado as considerou como parte de um mesmo megaciclo de sedimentação, sem discordâncias regionais intervenientes.

Trabalhos de datação de Van Schmus et al. (2003) e Hollanda et al. (2015), pelo método U-Pb em zircões detriticos nas Formações Jucurutu e Seridó, revelaram idades mínimas de 634 ± 13 Ma e 628 ± 16 Ma, respectivamente, sinalizando uma idade ediacarana para a sedimentação dessas sequências. Aqueles autores concluíram que um curto ciclo tectônico extensional e contracional entre 700 e 600 Ma pode ter originado a bacia e sua subsequente deformação.

Várias tentativas de classificação foram propostas para o plutonismo brasileiro na PB com base em parâmetros tectônicos, petrográficos e químicos (Almeida et al., 1967;

Sial, 1987; Ferreira et al., 1998), além de algumas mais inerentes aos granitoides dentro do DPS (Jardim de Sá et al., 1981; Jardim de Sá, 1994; Nascimento et al., 2000, 2008, 2015; Angelim et al., 2006).

Nascimento et al. (2015) agruparam os granitoides do DPS em seis diferentes suítes: shoshonítica (gabros, dioritos a quartzo monzonitos), calcioalcalina de alto K porfirítica (predominam monzogranitos com fenocristais de K-feldspato), calcioalcalina de alto K equigranular (monzogranitos equigranulares ou microporfiríticos), calcioalcalina (granodioritos a tonalitos inequigranulares, médios a grossos), alcalina (composta por alcalifeldspato granito com quartzo alcalifeldspato sienito e sienogranitos subordinados) e alcalina charnoquítica (quartzo mangeritos a charnoquitos, de granulação média a grossa e inequigranulares) (Figura 1).

Esses mesmos autores mostram um resumo de dados geocronológicos onde as idades U-Pb dos granitoides no Domínio Rio Grande do Norte variam entre 628 e 541 Ma, sem aparente zoneamento temporal entre as diferentes suítes apresentadas pelos referidos autores. Mais recentemente, Hollanda et al. (2017) obtiveram idades U-Pb em biotita leucogranitos do DPS variando entre 575 ± 10 Ma e 527 ± 8 Ma. Os autores supracitados afirmam que o período final da atividade magmática félsica ocorreu aproximadamente entre 550 e 525 Ma, com as últimas intrusões sobrepondo-se em tempo e espaço à colocação de pegmatitos mineralizados em Ta e Li na PB.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram coletadas duas amostras para datação, uma da fácies equigranular fina a média (RC-1176a) e outra, a RC-1177a, da fácies inequigranular média a fracamente porfirítica. Elas foram submetidas às técnicas padrões de preparação, iniciando pela cominuição (britagem e moagem). Posteriormente foi feita separação na bateia dos minerais mais densos; os minerais pesados não magnéticos foram então separados no separador Frantz e os zircões foram decantados utilizando líquidos densos, etapas realizadas na Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Em seguida, o material foi enviado ao Centro de Pesquisas Geocronológicas da Universidade de São Paulo (CPGeo/USP) para datação.

Os zircões selecionados foram fotografados por catodoluminescência usando um detector CEN-TAURUS® com um intervalo dinâmico de comprimento de onda de 185 a 850 nm acoplado a um microscópio eletrônico de varredura (MEV) FEI Quanta 250, operando a 15 kV EHT e a uma distância de trabalho de 17 mm. Após o imageamento, as composições isotópicas de U-Th-Pb foram determinadas utilizando a técnica de microsonda iônica de alta resolução e de alta sensibilidade (*sensitive high resolution ion micro*

probe — SHRIMP IIe/MC) do CPGeo/USP, obedecendo ao procedimento analítico proposto por Sato et al. (2014).

Para a caracterização petrográfica das rochas do SSA, foram descritas dez seções delgadas (cinco de cada fácies). A nomenclatura e a classificação adotadas atendem à proposta de Streckeisen (1976). O microscópio utilizado no estudo foi o modelo BX51, da Olympus. Para o cálculo da composição modal foram contados mil pontos por seção, com o uso do *software* Hardledge, versão 1.6.5.1111, da Endeuper®. O teor de anortita dos plagioclásios foi determinado pela aplicação do método óptico de Michel-Lévy. Os minerais opacos foram estudados tanto ao microscópio óptico em luz refletida quanto em MEV. Para tal, foram confeccionadas duas seções polidas, sendo uma para cada fácies. A primeira etapa do polimento se processou com o uso de pós de carvão de silício (1.500, 2.000 e 3.000 *mesh*) e água destilada, sobre uma base de vidro. A segunda etapa se deu por meio do uso de panos de polimento combinados com pasta diamantada (3, 1 e ¼ µm) e lubrificante a base de álcool (DP-Lubricant Blue), ambos da Struers, respeitando-se um tempo médio (fases) de polimento de 30 minutos para cada granulometria utilizada. Entre cada uma dessas fases, as amostras foram lavadas com água e detergente líquido, submetidas a banho por ultrassom, para remoção de eventuais partículas não removidas na limpeza comum, e seguiram para o dessecador para retirada de umidade e inibição da oxidação do material.

As análises das seções polidas no MEV foram feitas com um modelo TM3000, da Hitachi, acoplado ao sistema de microanálise *Energy Dispersive X-Ray Spectrometer* (EDS), modelo Quantax70 da Bruker, operando a uma tensão de aceleração de 15 k e respeitando um tempo médio de análise por ponto de 60 s. Essa etapa se desenvolveu nas dependências do Laboratório de Caracterização Estrutural de Materiais da UFRN, permitindo, assim, uma análise semi-quantitativa do conteúdo de minerais opacos, bem como a obtenção de mapas elementais e de imagens de elétrons retroespalhados (*backscattered electrons*).

Os dados geoquímicos são provenientes de um conjunto total de dez amostras, sendo seis da fácies inequigranular média a fracamente porfírica (IMFP), dominante no *stock*, e quatro da fácies equigranular fina a média (EFM), subordinada. A preparação das amostras e a obtenção dos dados analíticos de elementos maiores, traço e terras raras ficaram a cargo da SGS Geosol — Laboratórios LTDA. As análises dos elementos maiores e menores foram obtidas em rocha total por fluorescência de raios X (FRX) em pastilhas fundidas com tetraborato de lítio, enquanto elementos traços e terras raras foram determinados por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS), após fusão com metaborato de lítio. A perda ao fogo foi calculada pela diferença de peso após aquecer 0,2 g de amostra a 1.000°C. O erro analítico é menor do que 2% para os óxidos e 5% para os elementos traços.

RESULTADOS

Contexto geológico do *Stock Serra da Acauã*

O SSA abrange uma área aflorante em torno de 7 km², situado na divisa entre os municípios de Currais Novos e Acari, ambos no estado do Rio Grande do Norte. Geologicamente, situa-se na porção leste do DPS. O *stock* compreende alguns serrotes, os quais oscilam entre 350 e 590 m de altitude, separados por vales, destacando-se, entre eles, a Serra da Acauã, mais a norte.

Cartograficamente o SSA é representado por duas fácies graníticas de coloração cinza clara a levemente rosadas, leucocráticas, com biotita sendo o principal máfico. Essas fácies são texturalmente distintas: uma é IMFP, dominante em cerca de 80% do *stock*, e outra é EFM, subordinada, ± 20% (Figuras 2, 3A e 3B).

O SSA ocorre intrusivo em granada-biotita xistos (± cordierita) lepidonematoporfiroblásticos da Formação Seridó, a qual apresenta uma direção de foliação principal (S_{p3}) NNE-SSW de mergulho forte a subvertical, sobretudo nas proximidades das zonas de cisalhamento transcorrentes Gargalheiras e Currais Novos, ambas de cinemática dextral. A colocação do SSA nessa unidade se dá sob caráter tardi-cinemático, entre as zonas de cisalhamento supracitadas.

Evidenciam-se as estruturas de fluxo magmático do *stock* pela orientação preferencial (NNE-SSW) dos fenocristais de K-feldspatos (2 a 4 cm ao longo do seu eixo de alongamento) e, ocasionalmente, pela orientação de enclaves centimétricos dioríticos/quartzo-dioríticos do tipo *mafíc microgranular enclaves* (MME), distribuídos indistintamente nas duas fácies, os quais mostram texturas tipos *mingling* e *mixing* com os biotita monzogranitos (Figura 3C).

O SSA é dominado por um regime deformacional de caráter rúptil. Além das falhas transcorrentes sinistrais mencionadas, são observados pares conjugados e feixes de fraturas N-S e E-W, bem como diques de pegmatitos e aplitos, também E-W, e ainda veios de quartzo (Figura 3D).

Geocronologia

De modo geral, os cristais de zircões analisados são euétricos, de hábito prismático, com comprimentos sempre inferiores a 400 µm, fortemente zonados e com poucas fraturas e ausência de núcleos herdados e bordas de recristalização. A morfologia dos cristais associada a razões Th/U variando de 0,34 a 2,22 indicam uma origem ígnea para os zircões estudados, obedecendo à proposta de Lopez-Sanchez et al. (2016). Os resultados das análises de 8 zircões do fácies EFM e de 11 zircões do fácies IMFP são apresentados na Tabela 1. Tais análises forneceram as idades concórdia de 579 ± 3 Ma (MSWD de 1,7) para a fácies EFM e 577 ± 3 Ma para a fácies IMFP (Medeiros et al., 2017), definindo uma idade média de c.a 578 Ma, interpretada como idade de cristalização do granito (Figuras 4A e 4B).

Petrografia

Petrograficamente, as duas fácies do SSA são semelhantes. Ambas correspondem à biotita monzogranitos hololeucocráticos a leucocráticos ($M = 1,3$ a $9,9\%$) (Figura 5). Quartzo, microclina e plagioclásio constituem a paragênese félsica e dominante.

Biotita é o máfico principal (entre $0,5$ e $8,1\%$). Minerais opacos, titanita, allanita, apatita e zircão são traços (sempre $\leq 1,5\%$) e aparecem como as fases minerais mais precoces. Clorita, mica branca e carbonato são fases tardias, produtos de alteração hidrotermal de estágio *subsolidus* de biotita e feldspatos. Os dados das composições modais são apresentados na Tabela 2.

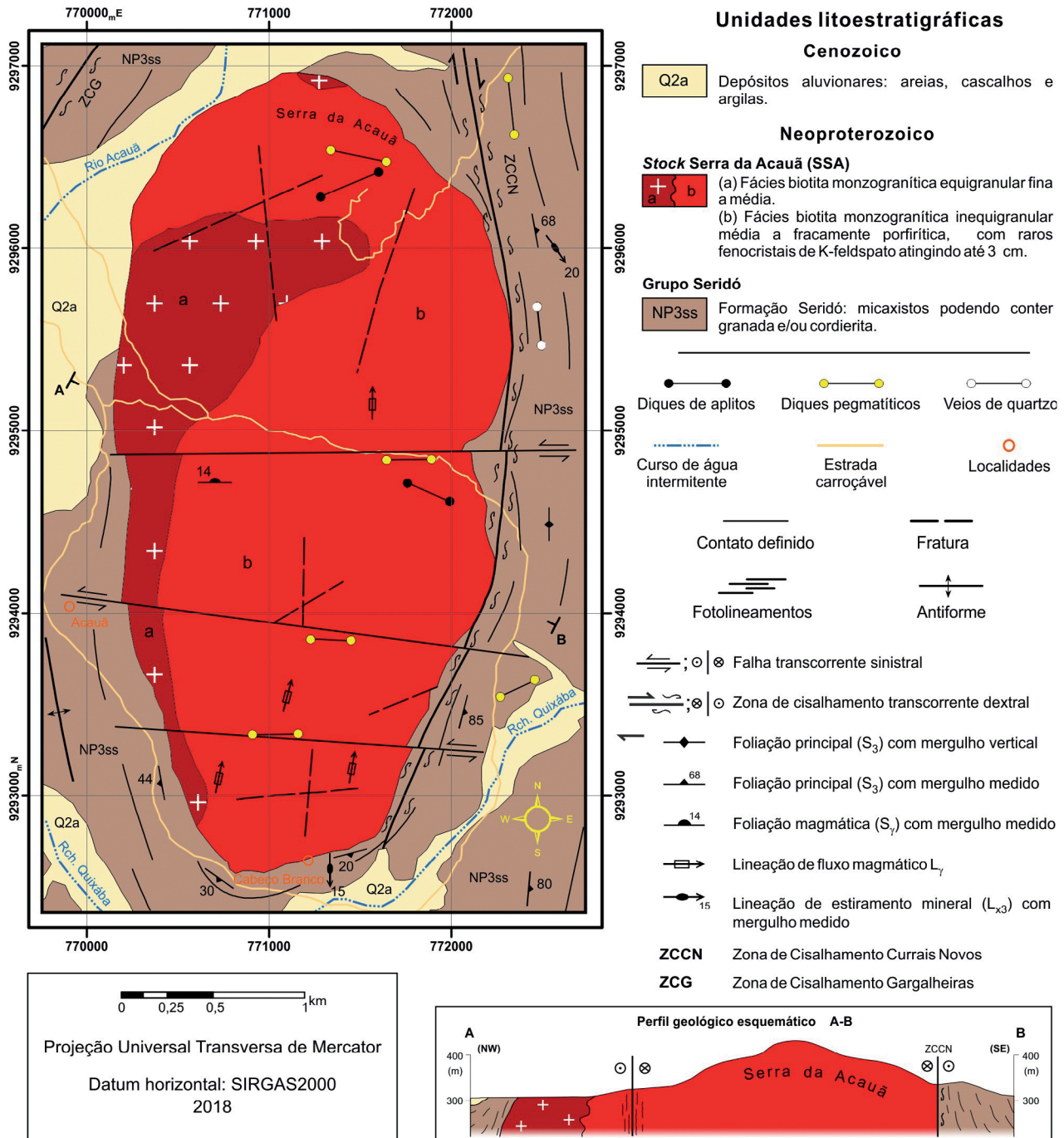


Figura 2. Mapa geológico do Stock Serra da Acauã e sua encaixante (Formação Seridó).

O plagioclásio ocorre principalmente como cristais hipidiomórficos a xenomórficos, apresentando hábito granular tabular e granulometria variando de 0,2 a 5 mm ao longo do seu eixo de maior alongamento, com maclas polissintéticas do tipo albita ou periclina. Composicionalmente são oligoclásios com $An_{25-29\%}$ (método óptico de Michel-Lévy). É observada zonação normal em boa parte dos cristais, a qual se caracteriza pelas porções centrais descalcificadas e corroidas (saussuritização), acompanhadas da cristalização de mica branca e, mais raramente, carbonato. Comumente apresentam inclusões de quartzo e apatita. Ocorre ainda como pequenos cristais, idio-hipidiomórficos, inclusos no K-feldspato, apresentando finas e irregulares bordas albiticas. É comum, nos contatos com o K-feldspato, desenvolverem textura mirmequítica, em geral bulbosas, com o quartzo vermicular e/ou goticular.

O quartzo se apresenta xenomórfico, granular e com granulometria variando de 0,5 a 3,0 mm. Seus cristais desenvolvem contatos intergranulares, de natureza curva, irregular e, em menor número, reta, com plagioclásio e K-feldspato, configurando por vezes textura em mosaico (Figura 6A). Apresentam, no geral, extinção ondulante, a qual, em níveis de *strain* mais elevados, evolui para textura de subgrãos. Inclusões de plagioclásio, K-feldspato e biotita são comuns.

O K-feldspato corresponde à microclina (Figura 6B). É representada por fenocristais hipidiomórficos e xenomórficos, responsáveis por atribuir textura fracamente porfírica às rochas da fácies inequigranular. A sua granulometria varia de 1,5 a 6 mm. O padrão *tartan* das maclas polissintéticas albita-periclina está por vezes combinado com a macla do tipo *carlsbad* (Figura 6C). Plagioclásio, biotita, zircão e apatita são as inclusões comuns. É possível observar extinções

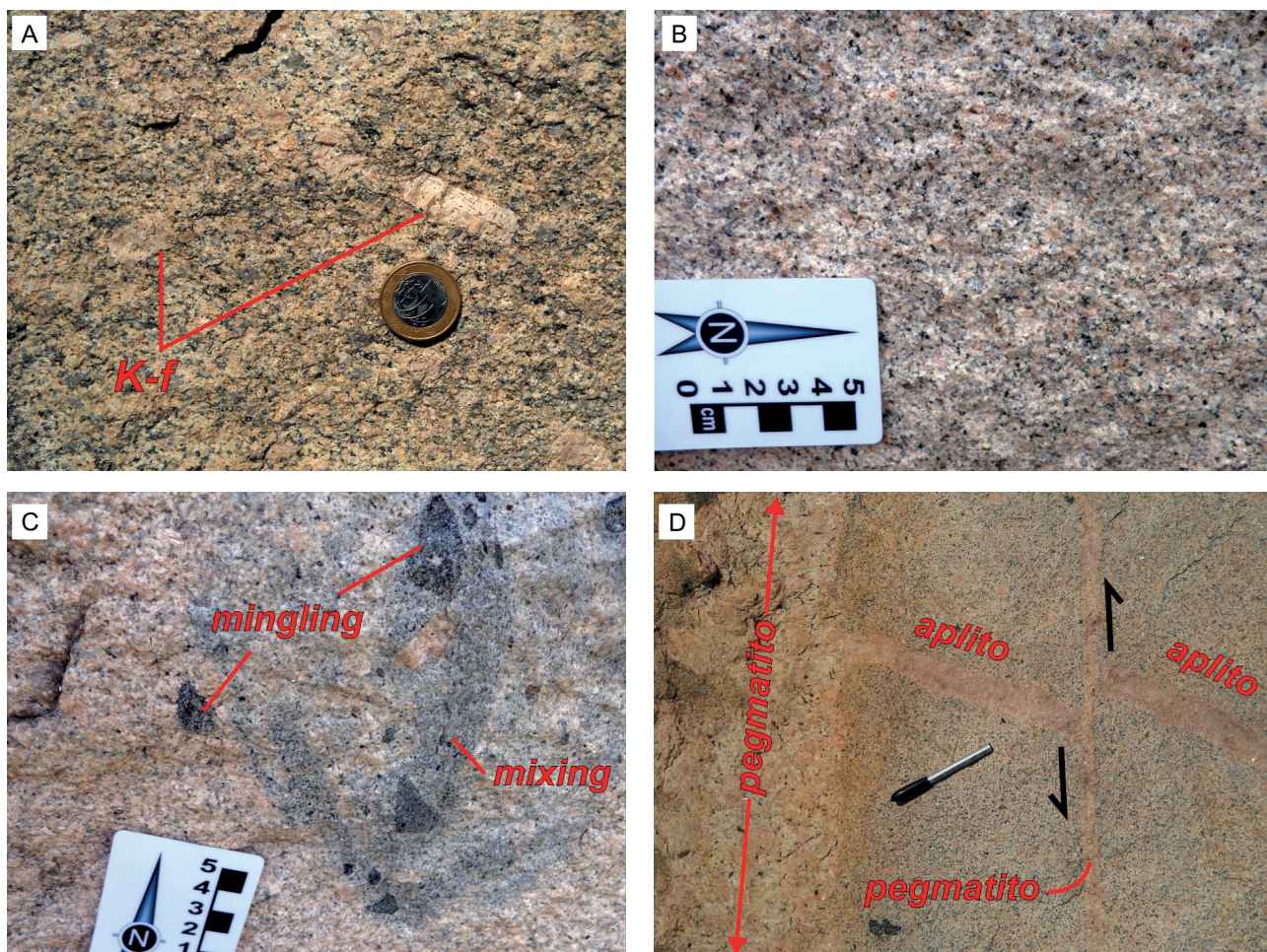


Figura 3. Feições de campo das fácies do Stock Serra da Acauã. (A) Biotita monzogranito inequigranular médio a fracamente porfírico. Destaque para fenocristais idiomórficos de K-feldspato; (B) biotita monzogranito equigranular fino a médio; (C) feições de mistura de magma (*mingling* e *mixing*) envolvendo os enclaves do tipo *mafic microgranular enclaves* e os monzogranitos; (D) diques de pegmatitos (vertical) cortando dique de aplito, servindo de marcador da cinemática transcorrente sinistral. A tampa da caneta indica o norte.

Tabela 1. Dados U-Pb em zircões (*sensitive high resolution ion micro probe* — SHRIMP) dos biotita monzogranitos do Stock Serra da Acauã.

	²⁰⁶ Pb (%)	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	²⁰⁶ Pb* (ppm)	Razões				Idades (Ma)				Conc. (%)			
						²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	±1σ	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ U	±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²³⁵ U	²⁰⁶ Pb/ ²³⁸ U		±1σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁶ Pb	±1σ
Biotita monzogranítico (EFM) n = 8																	
RC1176A-1.1	0,25	707,621	368,565	0,538	57,940	0,7755	1,8	0,0951	1,4	0,0592	1,1	583	585	8	574	25	100
RC1176A-3.1	0,02	1879,377	916,391	0,504	154,941	0,7809	1,4	0,0959	1,4	0,0590	0,4	586	591	8	568	10	99
RC1176A-4.1	0,45	98,325	210,803	2,215	7,930	0,7864	3,9	0,0934	1,8	0,0610	3,5	589	576	10	641	75	102
RC1176A-5.1	0,77	1128,180	528,004	0,484	89,947	0,7596	2,3	0,0921	1,4	0,0598	1,8	574	568	8	598	40	101
RC1176A-7.1**	1,12	223,948	423,012	1,952	17,165	0,7402	4,0	0,0882	1,5	0,0609	3,7	562	545	8	635	81	103
RC1176A-8.1	0,19	209,327	350,648	1,731	17,222	0,7777	2,7	0,0956	1,5	0,0590	2,3	584	588	8	568	49	99
RC1176A-10.1	0,10	546,709	180,962	0,342	44,220	0,7622	1,7	0,0941	1,4	0,0588	1,0	575	579	8	559	22	99
RC1176A-12.1**	1,28	271,252	192,213	0,732	20,342	0,7020	4,3	0,0861	1,5	0,0591	4,0	540	533	7	571	88	101
Biotita monzogranítico (IMFP) n = 11																	
RC-1177A-1.1	0,329	691,400	334,114	0,499	56,382	0,7778	2,0	0,0946	1,6	0,0596	1,2	584	583	9	590	26	100
RC-1177A-2.1	0,104	532,891	296,539	0,575	43,790	0,7800	1,9	0,0955	1,6	0,0592	1,1	585	588	9	575	23	100
RC-1177A-3.1	0,115	1698,969	627,523	0,382	139,160	0,7781	1,7	0,0952	1,6	0,0593	0,6	584	586	9	577	12	100
RC-1177A-4.1	0,257	1370,451	873,757	0,659	111,390	0,7679	1,8	0,0944	1,6	0,0590	0,8	578	581	9	568	19	100
RC-1177A-5.1**	0,757	714,238	476,877	0,690	55,139	0,7372	2,8	0,0891	1,6	0,0600	2,3	561	551	9	603	49	102
RC-1177A-7.1	0,208	1149,278	568,487	0,511	93,142	0,7777	1,8	0,0941	1,6	0,0599	0,8	584	580	9	601	17	101
RC-1177A-8.1	0,299	390,804	196,476	0,519	31,157	0,7555	2,2	0,0925	1,6	0,0592	1,5	571	570	9	576	33	100
RC-1177A-9.1	0,069	938,735	526,059	0,579	75,989	0,7663	1,8	0,0942	1,6	0,0590	0,7	578	580	9	568	16	100
RC-1177A-10.1**	0,583	799,902	674,975	0,872	58,526	0,6922	2,4	0,0846	1,6	0,0593	1,8	534	524	8	578	39	102
RC-1177A-11.1	0,254	462,187	206,518	0,462	36,251	0,7526	2,1	0,0911	1,6	0,0599	1,4	570	562	9	602	29	101
RC-1177A-12.1	0,333	526,774	364,990	0,716	41,204	0,7370	2,2	0,0907	1,6	0,0589	1,5	561	560	9	564	33	100

**Amostras não consideradas no cálculo da idade; EFM: fácies equigranular fina a média; IMFP: fácies inequigranular média a fracamente porfírica.

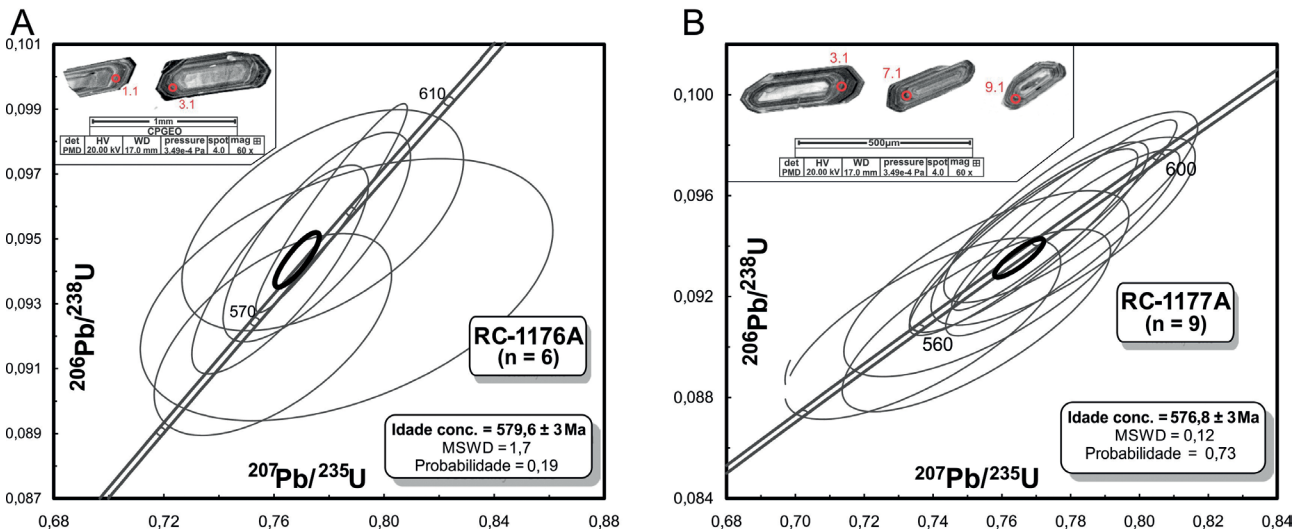


Figura 4. Diagramas concórdia e as respectivas idades U-Pb (*sensitive high resolution ion micro probe* — SHRIMP) em zircão para as fácies equigranular fina a média: (A) este trabalho; (B) fácies inequigranular média a fracamente porfírica, de Medeiros et al. (2017).

ondulantes e pertitas tipos fios e filetes. Em alguns cristais, observa-se aspecto de corrosão atribuído às alterações tardimagnéticas para mica branca.

A biotita, fase máfica principal, tem hábito lamelar-ripoide, mediante forma hipidiomórfica e granulometria que varia de 0,2 a 2,0 mm de comprimento. Seu dicroísmo migra de amarelo claro para marrom avermelhado em x e z ópticos, respectivamente. Cloritização é uma alteração comum, acompanhada da formação de mica branca e de

minerais opacos diminutos ao longo dos seus planos de clivagem (Figura 6D). São observadas inclusões de apatita e zircão, com formação de halo pleocroísmo para o zircão. A titanita é representada por pequenos cristais ($\leq 0,5$ mm) idiomórficos a xenomórficos, de hábito losangular e coloração cinza amarronzada fracamente pleocroica e, em alguns casos, com maclas lamelares. Ela ainda ocorre como finas e irregulares coroas associadas ao processo de esfenitização de minerais opacos. Cristais idiomórficos de zircão (menores do que 0,1 mm) ocorrem essencialmente como inclusões nas demais fases, especialmente na biotita, onde chega a desenvolver halos pleocricos. Os cristais de allanita são idiomórficos, têm coloração alaranjada e podem atingir tamanhos médios da ordem de 0,2 mm. A apatita ocorre como cristais hipidiomórficos a idiomórficos ($\leq 0,1$ mm), desde seções longitudinais prismáticas até seções tabulares hexagonais. Os minerais opacos são hipidiomórficos, com seções quadráticas e, por vezes, losangulares, formando pequenos agregados, em alguns casos associados à titanita. O tamanho dos cristais varia de 0,1 até 1,0 mm e podem apresentar inclusões de apatita, zircão e allanita.

Mica branca, clorita e carbonato são fases tardias e secundárias. A mica branca é hipidiomórfica a xenomórfica, de hábito lamelar, cuja granulação varia de 0,1 a 1,0 mm, e está associada à desestabilização de biotita e feldspatos.

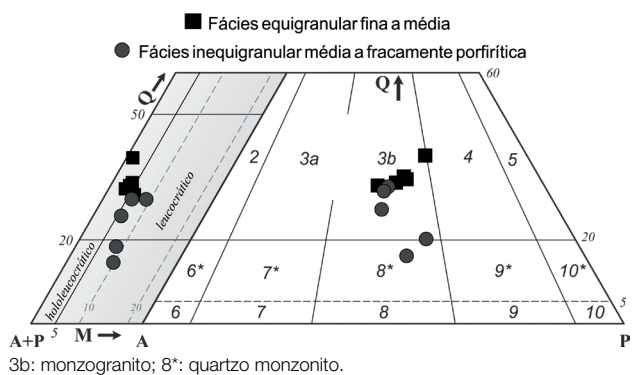


Figura 5. Diagramas de classificação modal Q-A-P e Q-(A+P)-M (Streckeisen, 1976) para as rochas do Stock Serra da Acauã.

Tabela 2. Composição modal dos biotita monzogranitos do Stock Serra da Acauã (foram contados 1.000 pontos por amostra).

Fácies	Equigranular fina a média					Inequigranular média a fracamente porfírica					
	Amostras	MA-05A	RC-167A	RC-168A	RC-176A	RC-180B	MA-05B	RC-174	RC-177A	RC-180A	RC-182
Quartzo		32,38	33,75	39,67	33,10	31,00	25,71	14,57	18,50	29,75	29,73
K-feldspato		29,37	26,88	20,89	26,60	32,50	34,57	33,43	28,30	29,37	31,89
Plagioclásio		34,38	35,00	38,11	36,00	30,33	34,00	42,14	44,60	31,75	32,24
Biotita		0,50	1,62	0,11	1,70	4,83	2,71	8,14	7,30	6,75	2,86
Clorita		1,38	0,88	0,33	0,40	---	0,29	0,29	---	0,38	0,33
Mica branca		1,50	1,25	0,67	1,50	---	1,14	0,43	0,70	0,25	1,12
Minerais opacos		0,50	0,62	0,22	0,40	0,33	0,86	1,00	0,40	1,38	1,28
Apatita		TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR
Zircão		TR	TR	TR	TR	TR	TR	TR	0,20	TR	TR
Allanita		---	TR	TR	TR	TR	---	TR	TR	TR	TR
Titanita		---	TR	---	0,10	1,00	0,71	TR	TR	0,38	0,55
Carbonato		TR	---	---	0,20	---	TR	---	---	---	---
Q		33,68	35,29	40,20	34,59	33,04	27,27	16,16	20,24	32,74	31,67
A		30,55	28,11	21,17	27,80	34,64	36,67	37,09	30,96	32,32	33,98
P		35,76	36,60	38,62	37,62	32,32	36,06	46,75	48,80	34,94	34,35
Q + P		32,38	33,75	39,67	33,10	31,00	25,71	14,57	18,50	29,75	29,73
A + P		63,75	61,88	59,00	62,60	62,83	68,57	75,57	72,90	61,12	64,13
M		3,88	4,37	1,33	4,30	6,16	5,71	9,86	8,60	9,14	6,14

TR: traços; Q, A, P, M: conforme a proposta de Streckeisen (1976).

A clorita é pseudomórfica, com forma hipidiomórfica e hábito ripoide, ambos herdados da biotita, com tamanho médio de 0,5 mm. O carbonato está associado unicamente à desestabilização do plagioclásio.

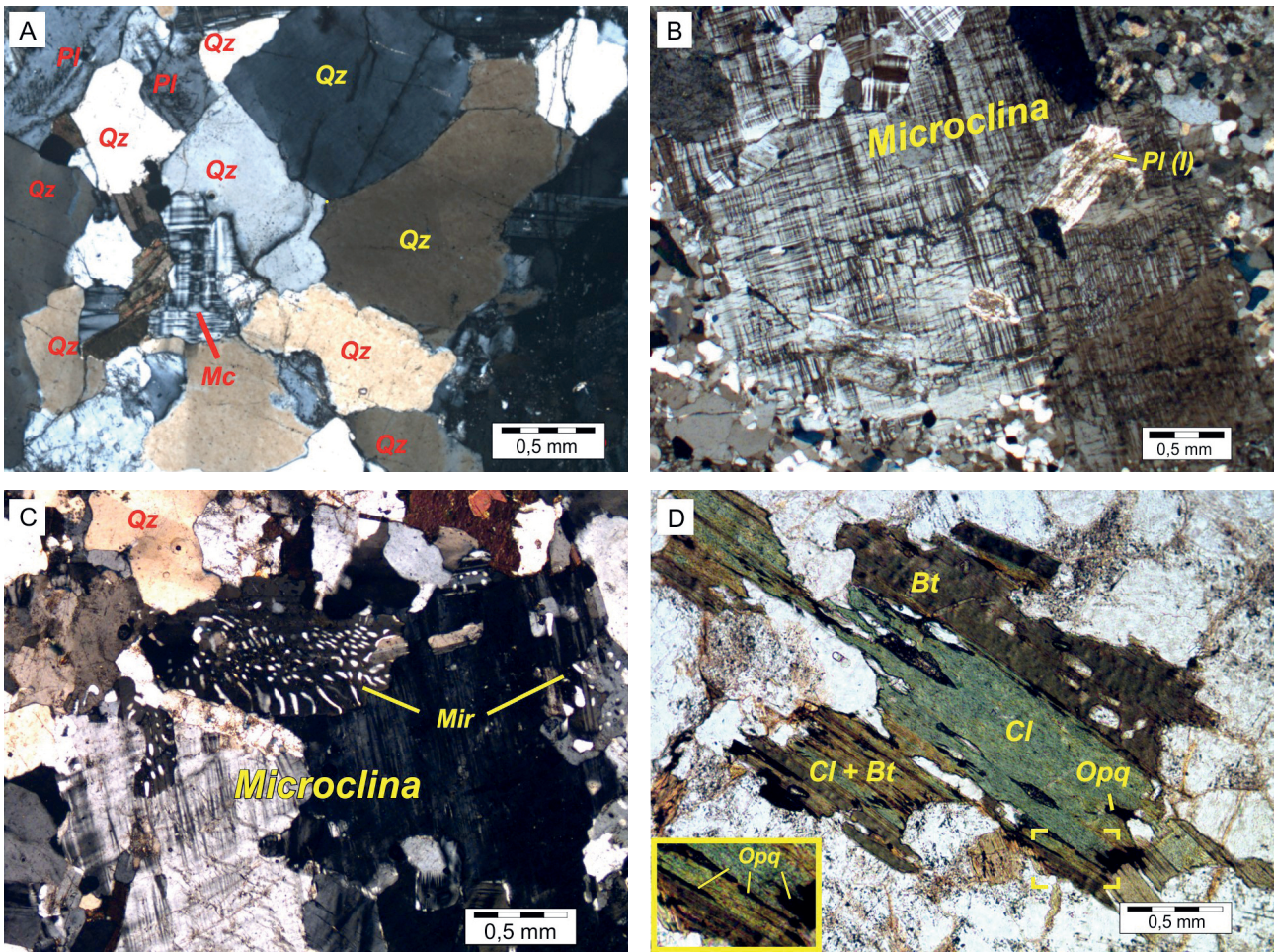
Minerais opacos em seção polida

As análises ópticas sob luz refletida permitiram reconhecer quatro fases minerais opacas: magnetita (predominante nas duas fácies), ilmenita (observada apenas na fácies EFM), sulfeto (notado no IMFP) e hematita, comum às duas fácies.

A magnetita tem uma granulometria que varia de $\pm 0,1$ até 0,6 mm, apresentando forma hipidiomórfica, hábito quadrático

e, por vezes, losangular. Tem coloração cinza-rosada, sem dicroísmo e com reflectância baixa a média típica ($\pm 20\%$). Sofre processo incipiente de martitização (hematita) nas bordas e ao longo de seus planos cristalográficos e de fraturas (Figuras 7A, 7B). Inclusões de zircão, apatita e allanita são comuns (Figura 7C).

A ilmenita é granular, ocorre na fácies equigranular fina a média como uma fase opaca subordinada em relação à magnetita. Seus cristais são hipidiomórficos, de coloração cinza clara e desenvolvem contatos retos intergranulares com a magnetita (Figura 7D). Quase todos eles apresentam hematita em finas lamelas de exsolução na forma de filetes, orientadas e de dimensões submicrométricas a micrométricas (máximo de 5 μm). Inclusões de apatita e zircão



Pl: plagioclásio; Qz: quartzo; Mc: microclina; Mir: mirmequitas; Bt: biotita; Cl: clorita; Opq: minerais opacos.

Figura 6. Fotomicrografias das rochas do Stock Serra da Acauã. (A) Cristais xenomórficos fraturados de quartzo formando textura em ponto tríplice [NX]; (B) fenocristal de microclina da fácies inequigranular — a nitidez das geminações albita versus periclina em padrão xadrez (*tartan*) é sugestiva de uma alta triclincidade; observa-se inclusões de plagioclásio saussuritizado [NX]; (C) mirmequitas bulbosas, desenvolvidas no contato do plagioclásio com a microclina [NX]; (D) cloritização parcial (porções em verde claro) da biotita (marrom). Minerais opacos ocupam os planos de clivagem da biotita [N/].

são observadas. A hematita é observada também distribuída nos cristais de ilmenita, como produto de transformação tardia, associada a um mineral não identificado de coloração cinza mais escura.

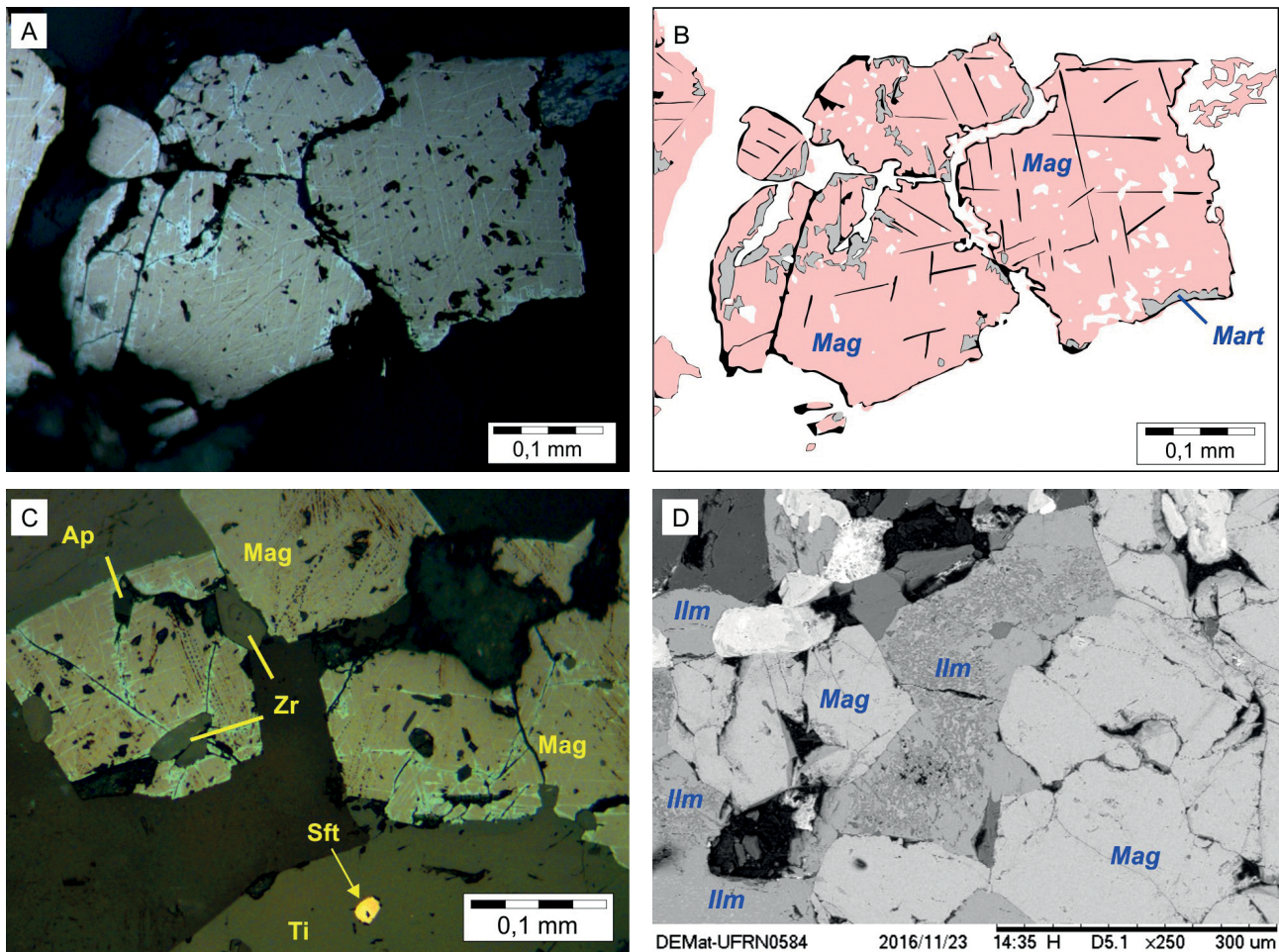
Um único grão de sulfeto foi observado incluso na titanita. Sua discreta expressão modal, além do tamanho reduzido (30 μm), não permite maiores detalhes sob o aspecto óptico (Figura 8C).

O sistema de microanálise semiquantitativo EDS acoplado ao MEV não só ratificou os dados ópticos, como também revelou variações nos teores médios de manganês na ilmenita, maiores na região onde se encontram as lamelas de exsolução (9 a 12% peso) e menores nas porções

onde se encontra hematita associada a TiO_2 ($\leq 2\%$ peso). Comprimentos de onda das linhas características de raios X K_α para silício, fósforo, cálcio e enxofre, e L_α para o zircônio corroboram a observação das pequenas inclusões de zircônio e apatita na magnetita e de sulfeto na titanita.

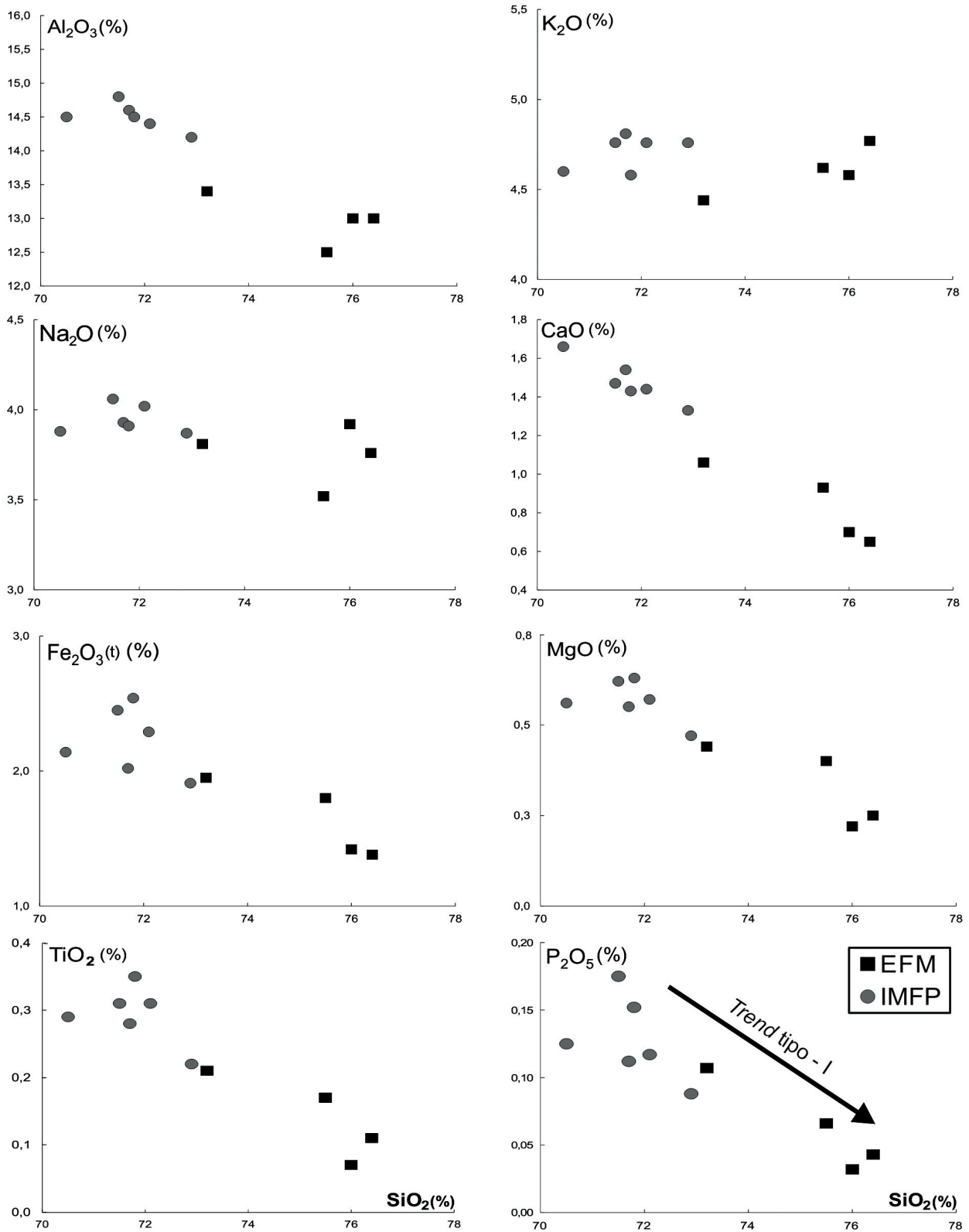
Geoquímica

Os resultados das análises geoquímicas das rochas do SSA, bem como o cálculo dos minerais normativos (CIPW) estão apresentados em tabelas na seguinte ordem: elementos maiores, menores e traços (Tabela 3), minerais normativos (Tabela 4) e elementos terras raras (ETR) (Tabela 5).



Mag: magnetita; Mart: martitas; Ap: apatita; Zr: zircônio; Sft: sulfeto; Ti: titanita; Ilm: ilmenita.

Figura 7. Características dos minerais opacos e outras fases associadas do Stock Serra da Acauã. (A) Fotomicrografia (esquerda) exibindo cristais hipidiomórficos a xenomórficos de magnetita da fácies biotita monzogranítica equigranular fina a média. [N/]; (B) desenho esquemático de A realçando as martitas desenvolvidas ao longo da estrutura cristalográfica da magnetita (traços pretos e áreas cinzas); (C) relação entre cristais de magnetita e titanita. Notar inclusões de zircônio e apatita no óxido, como também de sulfeto na titanita, na fácies inequigranular média a fracamente porfírica; (D) imagem de elétrons retroespalhados (*backscattering*) de microscopia eletrônica de varredura com ilmenita (cinza mais escuro) e magnetita (cinza mais claro) intercrescidos na fácies equigranular fina a média.



EFM: fácies equigranular fina a média; IMFP: fácies inequigranular média a fracamente porfírica.

Figura 8. Diagramas do tipo Harker para elementos maiores, com o *trend* de granitos tipo I para o P₂O₅ proposto por Chappell e White (1992).

Tabela 3. Análises químicas dos biotita monzogranitos do *Stock Serra da Acauã*.

Fácies	Inequigranular média a fracamente porfírica						Equigranular fina a média				
	Amostras	RC-169	RC-180A	RC-174	RC-177A	RC-168B	RC-182	RC-166	RC-176A	RC-168A	RC-167A
Elementos											
SiO ₂ (%)	70,50	71,50	71,70	71,80	72,10	72,90	73,20	75,50	76,00	76,40	
TiO ₂	0,29	0,31	0,28	0,35	0,31	0,22	0,21	0,17	0,07	0,11	
Al ₂ O ₃	14,50	14,80	14,60	14,50	14,40	14,20	13,40	12,50	13,00	13,00	
Fe ₂ O _{3(t)}	2,14	2,45	2,02	2,54	2,29	1,91	1,95	1,80	1,42	1,38	
MnO	0,02	0,05	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,02	0,02	
MgO	0,56	0,62	0,55	0,63	0,57	0,47	0,44	0,40	0,22	0,25	
CaO	1,66	1,47	1,54	1,43	1,44	1,33	1,06	0,93	0,70	0,65	
Na ₂ O	3,88	4,06	3,93	3,91	4,02	3,87	3,81	3,52	3,92	3,76	
K ₂ O	4,60	4,76	4,81	4,58	4,76	4,76	4,44	4,62	4,58	4,77	
P ₂ O ₅	0,13	0,18	0,11	0,15	0,12	0,09	0,11	0,07	0,03	0,04	
PF	0,72	0,36	0,44	0,51	0,62	0,53	0,58	0,49	0,47	0,47	
Total	99,00	100,56	100,01	100,44	100,66	100,32	99,25	100,04	100,43	100,85	
Ba (ppm)	1254,00	969,00	1131,00	945,00	1137,00	892,00	495,00	307,00	131,00	140,00	
Ga	19,80	21,10	20,60	19,10	20,00	19,00	20,20	18,60	20,70	19,20	
Hf	5,37	5,78	4,82	5,22	5,23	3,84	4,71	3,67	3,05	3,13	
Nb	23,09	29,48	20,73	27,22	29,76	20,90	31,31	25,92	14,96	23,66	
Rb	122,80	143,50	119,70	143,70	127,80	153,70	194,30	183,70	153,10	154,60	
Sr	391,80	320,60	353,70	314,50	352,20	280,00	189,90	121,90	67,60	66,70	
Th	16,10	18,20	14,10	20,10	16,60	15,50	21,30	20,40	27,70	24,90	
U	2,51	3,62	2,93	3,92	3,19	4,23	4,39	9,13	6,87	5,42	
Ta	1,74	2,19	1,47	2,27	2,14	1,91	2,57	2,18	1,12	1,79	
V	13,00	13,00	13,00	16,00	13,00	10,00	9,00	9,00	5,00	5,00	
Y	5,80	6,63	5,00	7,09	5,88	9,22	5,79	2,73	1,96	2,98	
Zr	206,70	207,90	168,00	192,60	182,20	129,90	135,70	109,10	70,00	72,70	
Na ₂ O+K ₂ O	8,48	8,82	8,74	8,49	8,78	8,63	8,25	8,14	8,50	8,53	
K ₂ O/Na ₂ O	1,19	1,17	1,22	1,17	1,18	1,23	1,17	1,31	1,17	1,27	
A/CNK	1,03	1,04	1,02	1,00	1,00	1,01	1,01	1,04	1,02	1,02	
A/NK	1,21	1,14	1,14	1,16	1,22	1,27	1,25	1,27	1,25	1,23	

Tabela 4. Composição dos minerais normativos (CIPW) para os biotita monzogranitos do *Stock Serra da Acauã*.

Fácies	Inequigranular média a fracamente porfírica						Equigranular fina a média				
	Amostras	RC-1169	RC-1180A	RC-1174	RC-1177A	RC-1168B	RC-1182	RC-1166	RC-1176A	RC-1168A	RC-1167A
Minerais											
Quartzo	26,29	25,44	26,24	27,48	26,36	28,42	31,27	34,52	33,30	33,93	
Ortoclásio	28,86	29,36	29,74	28,35	29,34	29,34	27,71	28,48	28,02	29,07	
Albita	34,01	35,03	33,96	33,88	34,60	33,32	33,26	30,33	33,56	32,04	
Anortita	7,28	5,98	6,72	5,93	6,14	5,79	4,47	4,04	3,14	2,84	
Coríndon	0,30	0,47	0,26	0,59	0,21	0,33	0,44	0,11	0,26	0,37	
Hiperstênio	2,21	2,51	2,11	2,54	2,27	1,96	1,98	1,79	1,27	1,26	
Magnetita	0,48	0,54	0,45	0,57	0,51	0,42	0,44	0,40	0,32	0,30	
Ilmenita	0,32	0,33	0,30	0,37	0,33	0,23	0,22	0,18	0,07	0,12	
Apatita	0,25	0,33	0,21	0,29	0,23	0,17	0,21	0,13	0,06	0,08	
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

Elementos maiores, menores e traços

As rochas do SSA são ácidas, com SiO₂ variando de 70,50 a 76,40%, com as amostras mais diferenciadas pertencentes à fácies EFM. São enriquecidas em álcalis (Na₂O + K₂O = 8,14 a 8,82%) com razões K₂O/Na₂O entre 1,17 e 1,31. Apresentam teores moderados de Al₂O₃ (12,50 a 14,80%) e discretos de Fe₂O_{3(t)} (1,38 a 2,54%), MgO (≥ 0,63%), CaO (≥ 1,66%) e P₂O₅ (≥ 0,18%).

Em diagramas binários de variação (tipo Harker), Al₂O₃, CaO, Fe₂O_{3(t)}, MgO, TiO₂, P₂O₅ e, em menor grau, Na₂O expressam correlação negativa com a diferenciação, ao passo que K₂O mostra um padrão horizontalizado (Figura 8). Os elementos traços Ba, Nb, Sr, V, Zr e Hf são compatíveis, ao passo que Rb e U são incompatíveis (Figura 9).

Saturação em alumina e séries magmáticas

O índice de saturação em alumina, conhecido por índice de Shand, classifica as rochas do SSA em fracamente peraluminosas (1,00 ≤ A/CNK ≤ 1,04). Tais amostras posicionam-se dentro do intervalo de sobreposição entre granitos tipo I e tipo S (A/CNK = 1 a 1,1), conforme Chappell e White (1992) e Chappell (1999), ilustrado na Figura 10A. Tal resultado está de acordo com os dados normativos CIPW, com

as amostras apresentando valores de coríndon normativo de 0,11 a 0,59%.

No diagrama discriminante de séries magmáticas que correlaciona SiO₂ com K₂O, segundo a proposta de Rickwood (1989), as amostras do SSA posicionam-se no campo calcioalcalino de alto K (Figura 10B), e no diagrama SiO₂ versus log (K₂O/MgO), com campos de Rogers e Greenberg (1981), elas se posicionam entre os campos de série alcalina e calcioalcalina, configurando uma assinatura transicional entre ambos (Figura 10C). Na proposta de Lameyre (1987), as rochas do SSA definem uma linhagem monzonítica, similar àquelas das séries calcioalcalinas de alto K de Nascimento et al. (2008, 2015) (Figura 10D). Nos diagramas de Frost et al. (2001), as ordenadas FeO_(t)/(FeO_(t) + MgO) e Na₂O + K₂O-CaO correlacionam-se com SiO₂. Em ambos, as amostras apresentam assinatura de granitos magnesianos e definem uma tendência que flutua entre os campos calcioalcalino e alcalicálcico (Figuras 10E e 10F). Esses diagramas mostram ainda que o SSA tem uma assinatura geoquímica similar aos granitos da suíte calcioalcalina de alto K equigranular de Nascimento et al. (2015).

Whalen et al. (1987) propuseram diagramas geoquímicos, correlacionando o somatório dos elementos traços Zr, Nb, Ce e Y com razões de elementos maiores, para discriminar granitos tipo A daqueles dos tipos S, I e M fracionados e não

Tabela 5. Análise química dos elementos terras raras para os biotita monzogranitos do Stock Serra da Acauã.

Fácies	Inequigranular média a fracamente porfírica					Equigranular fina a média			
	Amostras	RC-1169	RC-1180A	RC-1177A	RC-1168B	RC-1182	RC-1166	RC-1176A	RC-1167A
Elementos									
La (ppm)	55,70	59,30	52,30	60,00	39,30	40,30	33,70	22,70	
Ce	87,90	96,10	100,00	92,90	61,30	60,40	53,50	32,90	
Pr	8,69	9,23	8,54	9,26	6,18	5,77	4,80	3,03	
Nd	27,50	28,60	26,50	29,40	19,30	17,30	13,20	8,80	
Sm	3,60	3,80	3,60	4,10	3,00	2,50	1,60	1,20	
Eu	0,92	0,84	0,88	0,93	0,72	0,47	0,33	0,24	
Gd	2,43	2,43	2,48	2,53	2,16	1,73	0,99	0,90	
Tb	0,27	0,30	0,31	0,28	0,29	0,20	0,11	0,10	
Dy	1,10	1,39	1,44	1,15	1,52	1,05	0,55	0,51	
Ho	0,18	0,23	0,23	0,19	0,31	0,18	0,09	0,10	
Er	0,58	0,54	0,69	0,51	0,93	0,58	0,27	0,28	
Tm	0,08	0,10	0,11	0,08	0,16	0,10	0,05	0,05	
Yb	0,50	0,60	0,60	0,50	1,00	0,50	0,30	0,30	
Lu	0,08	0,08	0,09	0,07	0,15	0,09	0,05	0,06	
ΣETR	189,53	203,54	197,77	201,90	136,32	131,17	109,49	71,12	
(La/Yb) _N	54,75	28,80	46,84	48,80	46,17	40,08	43,77	16,10	
(La/Sm) _N	10,07	11,81	13,15	9,14	9,66	9,31	9,07	8,18	
(Gd/Yb) _N	3,93	3,28	3,34	4,09	1,75	2,80	2,67	2,43	
Eu/Eu*	0,90	0,79	0,85	0,82	0,83	0,66	0,75	0,68	

ETR: elementos terras raras; Eu/Eu* = Eu_N/[(Sm_N+Gd_N)/2].

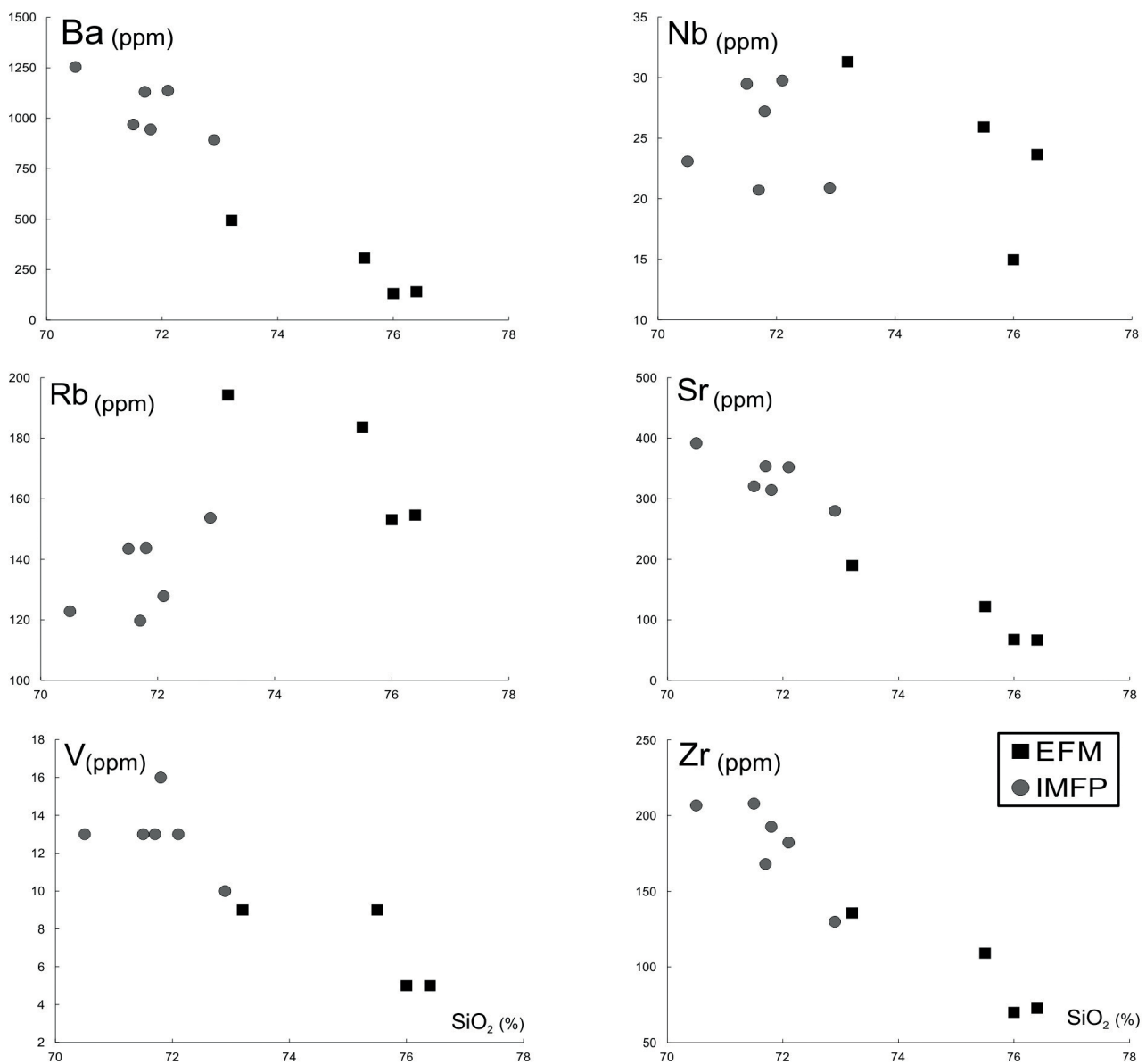
fracionados. Nesse contexto, o conjunto global de amostras do SSA posiciona-se na transição dos granitos não fracionados para granitos fracionados (Figura 11), e com assinatura bem distinta daquela de granitos tipo A.

Elementos terras raras e diagrama multielementos

Os resultados das análises dos ETR das amostras do SSA foram normalizados em relação ao condrito de McDonough e Sun (1995). O seu somatório apresentou valores que variam de 71,12 a 203,54 ppm, com média geral de 155,10 ppm.

Os resultados revelaram a média de 185,81 ppm para a fácies IMFP, e o valor médio menor de 103,93 ppm, para a EFM, indicando tendência de empobrecimento do conteúdo de ETR total, com o aumento do conteúdo de SiO_2 .

Os padrões de ETR são caracterizados por um enriquecimento, de cerca de 1 a 300 vezes em relação aos valores do condrito. No geral, os ETR são moderados a fortemente fracionados ($\text{La}_N/\text{Yb}_N = 16,10$ a $54,75$). Os elementos terras raras leves (ETRL) são inclinados, com padrão levemente convexo ($\text{La}_N/\text{Sm}_N = 8,18$ a $13,15$), ao passo que os pesados (ETRP) se apresentam sub-horizontais e suavemente côncavos (Gd_N/Yb_N



EFM: fácies equigranular fina a média; IMFP: fácies inequigranular média a fracamente porfírica.

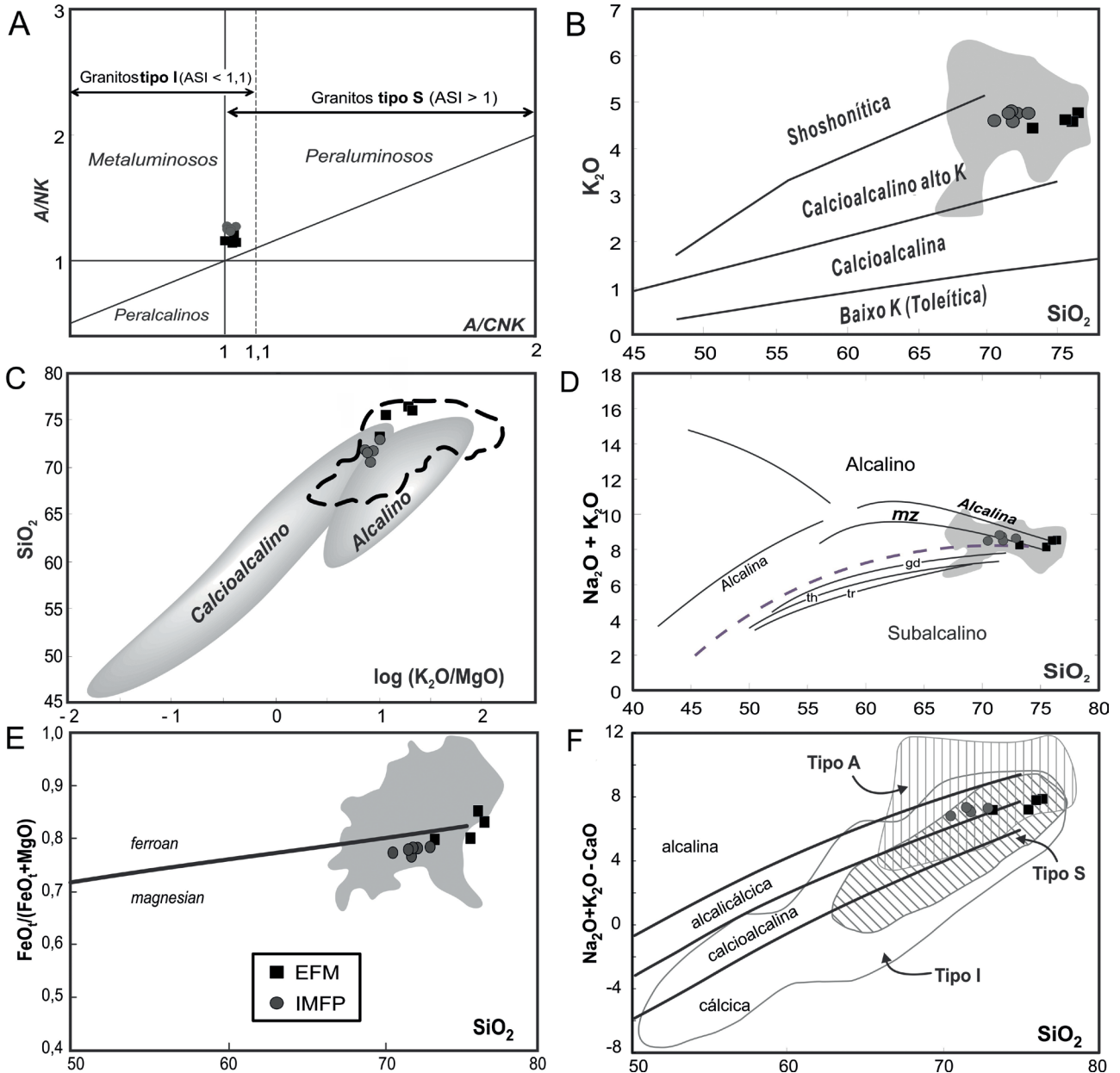
Figura 9. Diagramas do tipo Harker para alguns elementos traços.

= 1,75 a 4,09). Os valores de 0,66 a 0,90 para a razão Eu/Eu^* (Tabela 5) apontam fracas a moderadas anomalias negativas de Eu (Figura 12A), que aumentam da fácies IMFP para a EFM.

Os aranhogramas normalizados em relação aos valores sugeridos por Thompson (1982) são fracionados e caracterizados por depressões em Nb, Sr, P, Ti (Figura 12B).

Contexto tectônico

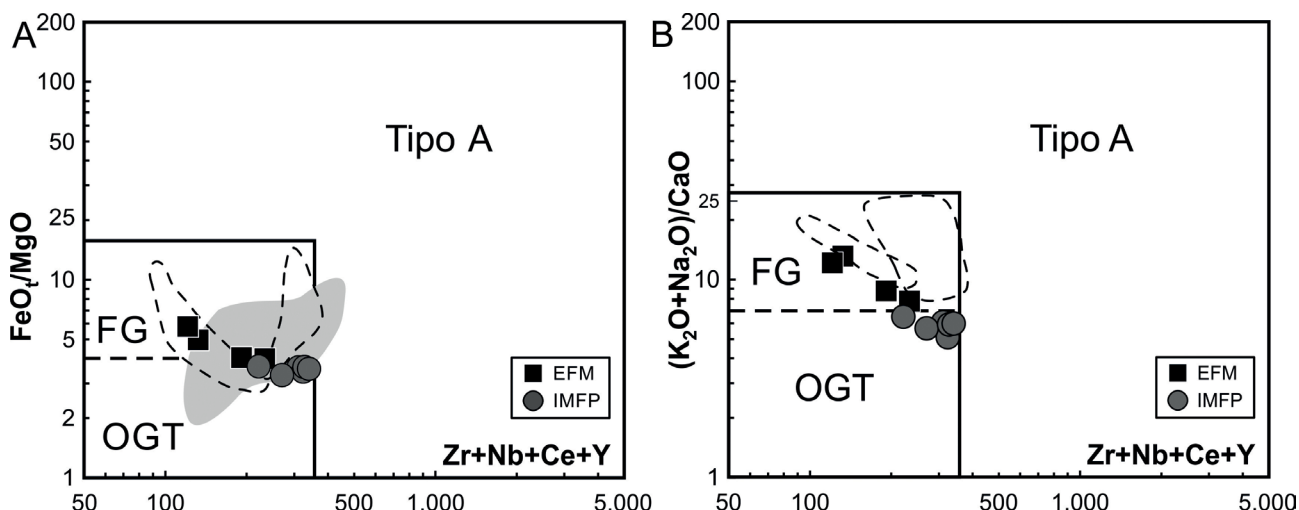
Segundo Pearce et al. (1984), granitos podem ser classificados de acordo com o contexto tectônico no qual estão inseridos. Tais autores desenvolveram diagramas discriminantes de ambientes tectônicos para granitos do



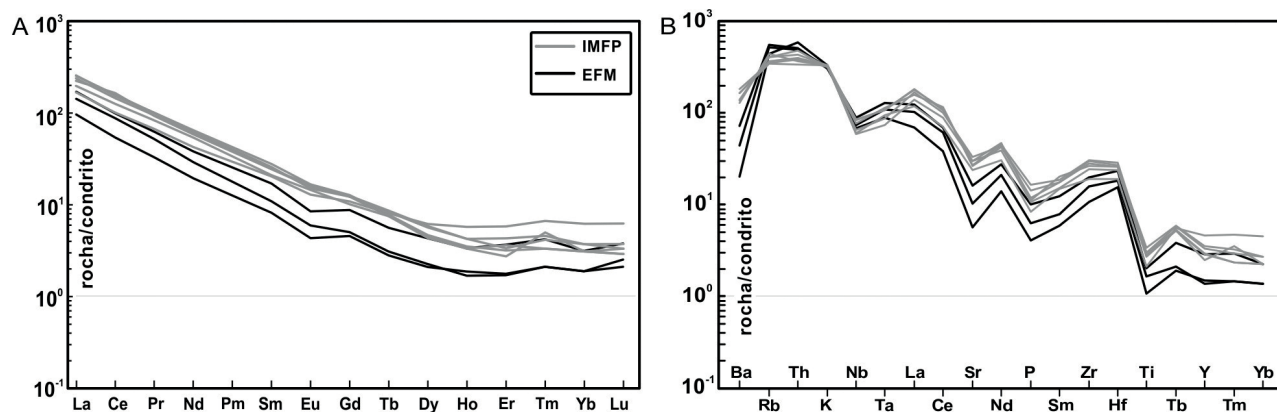
ASI: aluminium saturation index (Hammarstrom e Zen, 1986); EFM: fácies equigranular fina a média; IMFP: fácies inequigranular média a fracamente porfírica.
Figura 10. Diagramas de saturação em alumina e discriminantes de séries magmáticas para as rochas do Stock Serra da Acauã. (A) Maniar e Piccoli (1989); (B) Rickwood (1989); (C) Rogers e Greenberg (1981); (D) Lameyre (1987); (E) e (F) Frost et al. (2001). As áreas em cinza de B, D e E e tracejada em C refletem o conjunto de amostras da suite equigranular calcioalcalina de alto potássio equigranular de Nascimento et al. (2015).

Fanerozoico, com base na química de elementos traços, agrupando essas rochas em quatro grupos principais: granitos de cadeia oceânica, arco vulcânico, intraplaca e colisionais. Não obstante, os próprios autores sinalizaram para uma aplicação apropriada envolvendo granitos do Proterozoico, como é o caso do SSA. As amostras do SSA no diagrama multielementar proposto pelos referidos autores mostra um padrão similar àquele de granitos pós-colisionais (Figura 13A). Da mesma forma, no diagrama $Y + Nb$ versus Rb , segundo a proposta de Pearce (1996), as rochas do SSA exibem uma afinidade com os granitoides pós-colisionais (Figura 13B).

Na proposta de Harris et al. (1986), o diagrama ternário $Rb/30 - Hf - Ta^{*3}$ foi originalmente usado para caracterizar rochas intrusivas ácidas a intermediárias de zonas de colisão continente-continente de idade fanerozoica. Nesse sentido, os autores reconheceram quatro grandes grupos de rochas, cada um associado a um estágio particular de evolução tectônica. Nesse diagrama, as amostras do SSA se relacionam ao campo das intrusões calcioalcalinas tardi a pós-colisionais (Figura 13C). De forma similar, em diagramas propostos por Maniar e Piccoli (1989), as rochas do SSA mostram uma assinatura similar à dos granitos pós-orogênicos (Figura 13D).



FG: granitos fracionados; OGT: granitos tipo M, I e S não fracionados; EFM: fácies equigranular fina a média; IMFP: fácies inequigranular média a fracamente porfírica. **Figura 11.** Diagramas de discriminação geoquímica, segundo Whalen et al. (1987). As linhas tracejadas em A e B correspondem a campos de granitos fracionados (Whalen et al., 1987); a área cinza em A corresponde a granitos tipo I altamente fracionados do sul da China (Zhou et al., 2016).



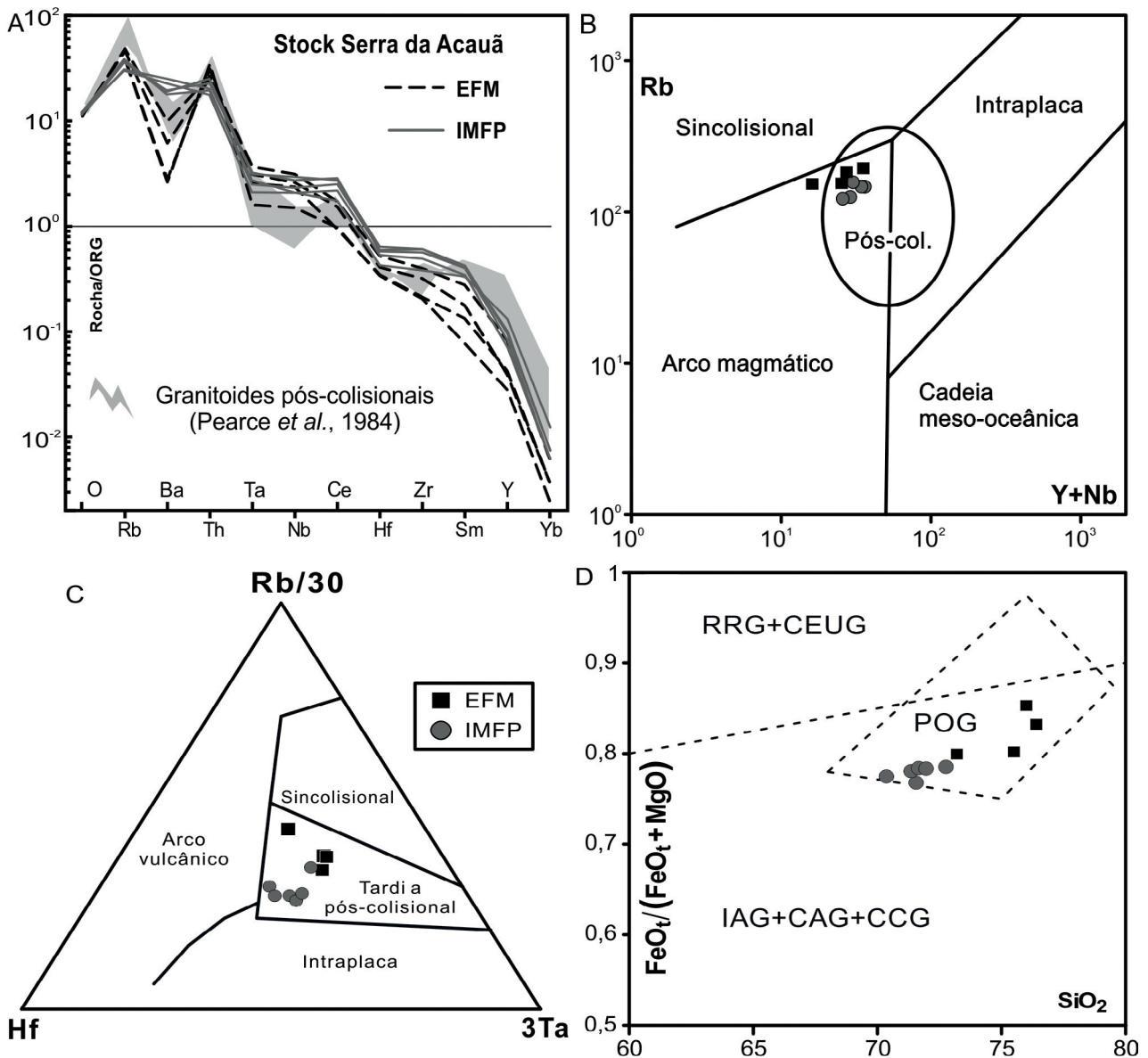
EFM: fácies equigranular fina a média; IMFP: fácies inequigranular média a fracamente porfírica. **Figura 12.** Diagramas para elementos traços incluindo os elementos terras raras para as rochas do Stock Serra da Acauã. (A) Espectro de elementos terras raras normalizados pelo condrito de McDonough e Sun (1995); (B) diagrama multielementar normalizado segundo Thompson (1982).

Condições de cristalização

As condições de cristalização foram inferidas com base em três parâmetros físicos: pressão de cristalização, temperaturas de *liquidus* e *solidus* e fugacidade de oxigênio (fO_2).

Para as estimativas de pressão de cristalização, foram levados em consideração dados normativos CIPW de Qz-Ab-Or, considerando um sistema haplogranítico. Tal condição é fundamentada na característica petrográfica, que consiste na presença de dois feldspatos coexistindo em equilíbrio com quartzo, característico de granito *subsolvus*.

O geobarômetro proposto por Yang (2017) baseia-se na aplicação de duas equações polinomiais: $P_1 = -0,2426*(Qz)^3 + 26,392*(Qz)^2 - 980,74*(Qz) + 12563$ e $P_2 = 0,2426*(Ab + Or)^3 - 46,397*(Ab + Or)^2 + 2981,3*(Ab + Or) - 64224$, com $R^2 = 0,9943$. Aplicando essas equações para as rochas do SSA, foram encontradas pressões de cristalização entre 2 e 4 kbar. Por outro lado, a utilização do geobarômetro de Tuttle e Bowen (1958), no diagrama ternário Qz-Ab-Or, revelou pressões de cristalização maiores, no geral entre 3 e 5 kbar (Figura 14A), mais compatíveis com o sistema de *subsolvus* graníticos.



EFM: fácies equigranular fina a média; IMFP: fácies inequigranular média a fracamente porfírica; IAG: *island arc granitoids*; CAG: *continental arc granitoids*; CCG: *continental collision granitoids*; RRG: *rift-related granitoids*; CEUG: *continental epeirogenic uplift granitoids*.

Figura 13. Contexto tectônico das rochas do Stock Serra da Acauã. (A) Diagrama multielementar para granitoides pós-colisionais, segundo Pearce et al. (1984); (B) Pearce (1996); (C) Harris et al. (1986); (D) Maniar e Piccoli (1989).

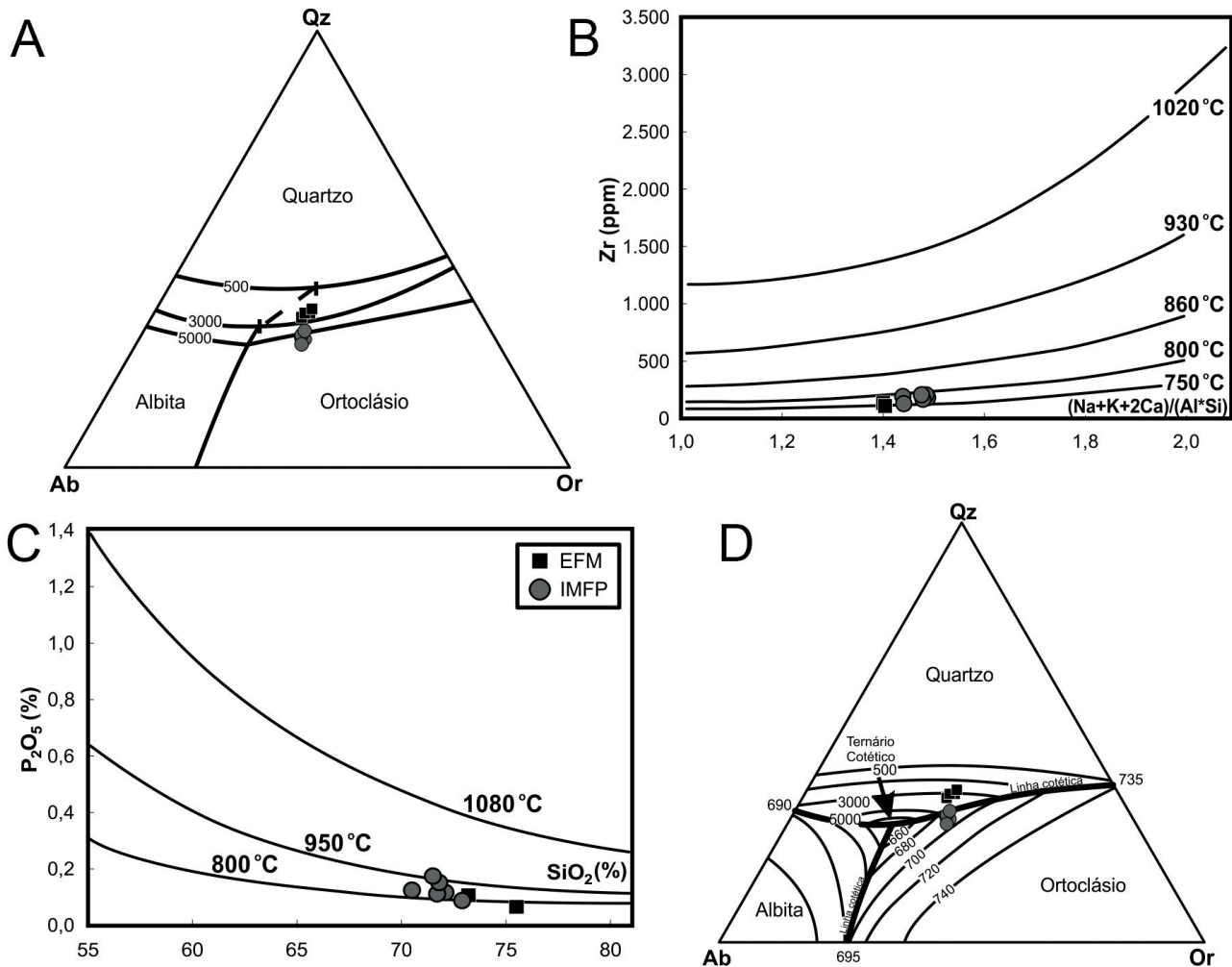
Geotermômetros que levam em consideração a saturação de zircão (Watson e Harrison, 1983) e de apatita (Watson e Harrison, 1984), durante o resfriamento magmático, foram empregados para inferir temperaturas mais próximas do *liquidus* para as rochas do SSA, partindo do princípio de que tais fases foram consideradas precoces na sequência de cristalização. Todas as amostras analisadas do SSA estão no intervalo calibrado por Siégel et al. (2018), com razão catiônica $M = (Na + K + 2Ca)/(Al*Si)$ entre 0,9 e 1,9. De todo, os dados envolvendo temperaturas de saturação de zircão e apatita do SSA apontam valores entre 750 e 950°C (Figuras 14B e 14C).

Para inferir as temperaturas próximas do *solidus*, foram utilizados dados normativos CIPW de rocha total, os quais foram plotados no diagrama Qz-Ab-Or, segundo a proposta de Luth et al. (1964). Os valores de temperatura aqui obtidos variam de 680 a 700°C (Figura 14D).

As condições de fO_2 referentes à evolução magmática dos biotitas monzogranitos do SSA foram inferidas com base na mineralogia de suas rochas. A substituição parcial de ilmenita por titanita, em equilíbrio com cristais de magnetita e quartzo, somada ao processo de martitização, sugere uma fO_2 relativamente alta para o magma progenitor (Wones, 1989).

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Um caráter deformacional dúctil ocasionado pelas zonas de cisalhamento Gargalheiras e Currais Novos se restringe às rochas da encaixante (Formação Seridó), não afetando o plutão Serra da Acauã. O referido corpo apresenta um domínio estrutural exclusivamente rúptil dominado por falhas E-W, fraturas e diques, o que permite caracterizar o



EFM: fácies equigranular fina a média; IMFP: fácies inequigranular média a fracamente porfirítica.

Figura 14. Diagramas de pressão e temperatura para as rochas do Stock Serra da Acauã. (A) Diagrama normativo para pressão, segundo Tuttle e Bowen (1958); geotermômetros de saturação de zircão e apatita, respectivamente: (B) Watson e Harrison (1983) e (C) Watson e Harrison (1984); (D) diagrama normativo para temperatura, conforme Luth et al. (1964).

seu alojamento como tarditectônico no contexto da orogênesse Brasileira na PB. A orientação preferencial dos fenocristais de K-feldspatos observada na fácies porfirítica estaria associada a um *fabric* de fluxo magmático.

As determinações U-Pb em zircão apontaram uma idade ediacarana de 578 ± 4 Ma para a cristalização do SSA, muito próxima daquelas encontradas para vários outros plutões do DPS como os granitoides Acari (577 ± 5 Ma), Serra da Rajada (557 ± 3 Ma), Flores (553 ± 4 Ma) e Serra do Caramurú (553 ± 10 Ma) (Archanjo et al., 2013, Costa et al., 2015; Souza et al., 2016).

As duas fácies do SSA mostram composição modal semelhante e assinaturas geoquímicas similares, o que nos leva a considerá-las como comagmáticas.

Os diagramas de variação do tipo Harker mostraram correlações negativas para Al_2O_3 , CaO, $Fe_2O_{3(t)}$, MgO, TiO_2 , P_2O_5 , Zr, Sr, V e Ba, sugerindo fracionamento de plagioclásio, acompanhado das fases máficas primárias, em especial biotita, titanita, apatita, zircão e minerais opacos durante o processo de evolução do magma. Os diagramas geoquímicos discriminantes de séries/associações magmáticas, por sua vez, são consistentes com um quimismo transicional entre rochas das séries alcalinas e calcioalcalinas, sendo aqui denominadas calcioalcalinas de alto potássio (também relatadas na literatura como subalcalinas, transalcalinas ou monzoníticas).

As rochas do SSA são bastante evoluídas ($> 70,50\%$ de SiO_2), apresentam baixo CaO e $Fe_2O_{3(t)}$ (Tabela 4), são enriquecidas em álcalis com razões $K_2O/Na_2O > 1,0$; de caráter fracamente peraluminoso e de linearidade negativa para P_2O_5 (Figura 8), compatíveis com granitos do tipo I. Tais características assemelham-se às de granitos tipo I fracionados de Whalen et al. (1987), Chappell e White (1992), Chappell (1999), Zhu et al. (2009), Li et al. (2007), Zhang et al. (2015) e Zhou et al. (2016). Ainda nesse contexto de tipologias de granitos, o *stock* mostra afinidade com magnetita granitos (granitos oxidados) dos autores japoneses Ishihara (1977, 1981) e Takahashi et al. (1980).

Os padrões dos ETR mostram enriquecimento dos ETRL em relação aos ETRP, com razões La_N/Yb_N entre 16,10 e 54,75, e fracas a moderadas anomalias negativas de Eu (Eu/Eu^* entre 0,66 e 0,90), compatíveis com fracionamento de plagioclásio. O paralelismo nos padrões de ETRs sugere uma mesma fonte e subsequente diferenciação similar para ambas as fácies do plutão. A inclinação global negativa do espectro e a concavidade convexa no intervalo dos ETRP podem ser explicadas pela presença de allanita e o fracionamento de apatita. Além disso, as anomalias negativas de Nb, Sr, P, Ti observadas no diagrama multielementos também podem indicar fracionamento de apatita (Sr e P) e titanita (Nb e Ti), além de serem análogas a granitos tipo I fracionados do nordeste da China (Wu et al., 2003).

Diagramas discriminantes de ambientes tectônicos indicam que o SSA é orogênico de caráter tardi a pós-tectônico

em relação à orogênesse Brasileira, aliando-se às características de campo observadas e de sua idade.

As temperaturas de saturação de zircão, para os monzogranitos, são, em média, menores do que aquelas apresentadas para saturação de apatita, estando contidas no intervalo de 753 a 803°C. Tal intervalo corresponde a um regime similar ao de granitos tipo I altamente fracionados do sul da China (Li et al., 2007; Zhu et al., 2015) (Figura 15).

Os resultados obtidos para as pressões mínimas de cristalização, por meio do diagrama de Tuttle e Bowen (1958), entre 3 e 5 kbar, permitiram estimar uma profundidade de alojamento (h) de 11,6 a 19,3 km para o SSA, onde $h = P/(pg)$; e considerando-se uma densidade média (p) de $2,65 \text{ g/cm}^3$, conforme dados de outros corpos no DPS de características petrográficas e texturais similares (Souza, 2016; Maia, 2004, por exemplo). Tais valores, além de serem mais compatíveis com sistemas de *subsolvus* graníticos do que aqueles menores (em média) obtidos pela aplicação da metodologia de Yang (2017), estão em consonância com as pressões obtidas por Cavalcante et al. (2014), Costa et al. (2015) e Souza et al. (2017) em granitoides ediacaranos do extremo nordeste da PB.

No tocante às condições de fugacidade de oxigênio, verificamos na rocha a presença da paragênese titanita + magnetita + quartzo em equilíbrio, além de processos de martitização associados aos cristais de magnetita. Essas feições indicam condições de fO_2 relativamente elevadas durante a evolução/cristalização do magma granítico.

O processo sugerido para a evolução magmática do SSA é a cristalização fracionada, em virtude da presença principalmente de cristais zonados de plagioclásio, K-feldspato e allanita. Por outro lado, sua interação com enclaves do tipo MME (oriundos da fusão parcial do manto superior)

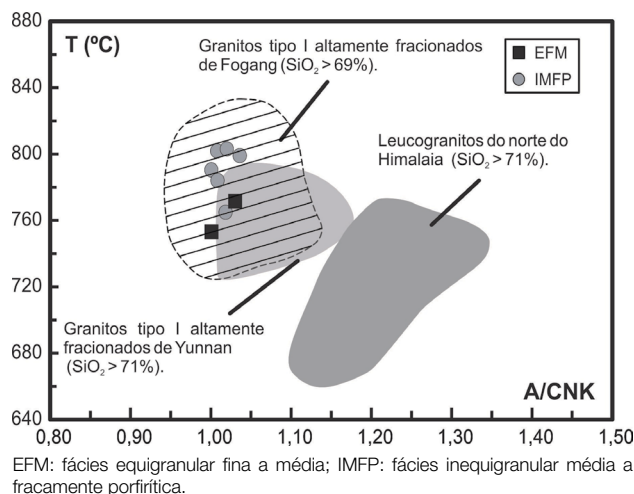


Figura 15. Diagrama A/CNK versus temperaturas de saturação em zircão para o Stock Serra da Acauã, segundo Zhu et al. (2009, 2015).

produzindo localmente misturas tipo *mixing* e *mingling* sugere uma evolução mista para o magmatismo, a saber, cristalização fracionada (dominante) e mistura de magmas (restrita).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Serviço Geológico do Brasil (CPRM) e ao Programa de Pós-Graduação em Geodinâmica e Geofísica (PPGG), o apoio e a concessão de dados. Mateus de Araújo Silva agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) a bolsa de estudos concedida.

REFERÊNCIAS

- Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A. (1981). Brazilian structural provinces: an introduction. *Earth-Science Reviews*, 17(1-2), 1-29. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(81\)90003-9](https://doi.org/10.1016/0012-8252(81)90003-9)
- Almeida, F. F. M., Leonardos Jr., O. H., Valença, J. (1967). *Review on granitic rocks of northeast South America*. Haarlem: International Union of Geological Sciences.
- Angelim, L. A. A., Nesi, J. R., Torres, H. H. F., Medeiros, V. C., Santos, C. A., Veiga Júnior, J. P., Mendes V. A. (2006). *Geologia e recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte – Escala 1:500.000*. Texto explicativo dos mapas geológico e de recursos minerais do Estado do Rio Grande do Norte. Recife: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.
- Archanjo, C. J., Hollanda, M. H. B. M. (2015). Idade do Complexo Caicó (Faixa Seridó, RN-PB) com base no método U/Pb (SHRIMP) em zircão de ortognaisses. *XXVI Simpósio de Geologia do Nordeste*, 24,160 p. *Anais...* Natal: SBG/ Núcleo Nordeste.
- Archanjo, C. J., Viegas, L. G. F., Hollanda, M. H. B. M., Souza, L. C., Liu, D. (2013). Timing of the HT/LP transpression in the Neoproterozoic Seridó Belt (Borborema Province, Brazil): constraints from U-Pb (SHRIMP) geochronology and implications for the connections between NE Brazil and West Africa. *Gondwana Research*, 23(2), 701-714. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2012.05.005>
- Bizzi, L. A., Schobbenhaus, C., Vidotti, R. M., Gonçalves, J. H. (2003). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: texto, mapas e SIG*. Brasília: CPRM – Serviço Geológico do Brasil.
- Campos, B. C. S., Vilalva, F. C. J., do Nascimento, M. A. L., Galindo, A. C. (2016). Crystallization conditions of porphyritic high-K calc-alkaline granitoids in the extreme northeastern Borborema Province, NE Brazil, and geodynamic implications. *Journal of South American Earth Sciences*, 70, 224-236. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2016.05.010>
- Cavalcante, R., Galindo, A. C., Alves da Silva, F. C. A., Souza, R. F. (2014). Química mineral e condições de cristalização do Pluton Granítico Barcelona, extremo nordeste da Província Borborema, Nordeste do Brasil. *Pesquisas em Geociências*, 41(3), 257-272. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78102>
- Cavalcante, R., Medeiros, V. C., Costa, A. P., Sá, J. M., Santos, R. V., Rodrigues, J. B., Dantas, A. R., Nascimento, M. A. L., Cunha, A. L. C. (2018). Neoproterozoic units of the Saquinho region, eastern Rio Piranhas-Seridó domain, Borborema Province (northeastern Brazil): implications for the stratigraphic model. *Journal of the Geological Survey of Brazil*, 1(1), 11-29. <https://doi.org/10.29396/jgsb.2018.v1.n1.2>
- Chappell, B. W. (1999). Aluminium saturation in I- and S-type granites and the characterization of fractionated haplogranites. *Lithos*, 46(3), 535-551. [https://doi.org/10.1016/s0024-4937\(98\)00086-3](https://doi.org/10.1016/s0024-4937(98)00086-3)
- Chappell, B. W., White, A. J. R. (1992). I- and S-type granites in the Lachlan Fold Belt. *Geological Society of America*, 272, 1-26. <https://doi.org/10.1130/spe272-p1>
- Costa, A. P., Nascimento, M. A. L., Galindo, A. C., Dantas, A. R. (2015). Geologia, petrologia e geocronologia U-Pb do Plúton Granítico Serra da Rajada: implicações sobre a evolução magmática ediacarana na porção NE do Domínio Rio Piranhas-Seridó (NE da Província Borborema). *Geologia USP. Série Científica*, 15(3-4), 83-105. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v15i3-4p83-105>
- Dantas, E. L. (1992). *Evolução tectonomagmática do maciço polidiapírico São Vicente/Florânia-RN*. Dissertação (Mestrado). Rio Claro: UNESP.
- 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: L. A. Bizzi (Ed.), *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Texto, mapas e SIG*. Brasília: CPRM. p. 227-234.
- Ferreira, V. P., Sial, A. N., Jardim de Sá, E. F. (1998). Geochemical and isotopic signature of Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema structural province, northeastern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(5), 439-455. [https://doi.org/10.1016/s0895-9811\(98\)00027-3](https://doi.org/10.1016/s0895-9811(98)00027-3)

- 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(11), 2033-2048. <https://doi.org/10.1093/petrology/42.11.2033>
- Hackspacher, P. C., Van Schmus, W. R., Dantas, E. L. (1990). Um embasamento transamazônico na Província Borborema. *XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia*, 6, 2661-2677. *Anais...* Natal: SBG/Núcleo Nordeste.
- Hammarstrom, J. M., Zen, E. A. (1986). Aluminum in hornblende: an empirical igneous geobarometer. *American Mineralogist*, 71(11-12), 1297-1313.
- Harris, N. B. W., Pearce, J. A., Tindle, A. G. (1986). Geochemical characteristics of collision-zone magmatism. In: M. P. Coward, A. C. Ries (Eds.), *Collision tectonics. Geological Society, Special Publication*, 19(1), 67-81. <https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1986.019.01.04>
- Hollanda, M. H. B. M., Archanjo, C. J., Bautista, J. R., Souza, L. C. (2015). Detrital zircon ages and Nd isotope compositions of the Seridó and Lavras da mangabeira Basins (Borborema Province, NE Brazil): Evidence for exhumation and recycling associated with a major shift in sedimentary provenance. *Precambrian Research*, 258, 186-207. <https://doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12.009>
- Hollanda, M. H. B. M., Archanjo, C. J., Souza, L. C., Dunyi, L., Armstrong, R. (2011). Long-lived Paleoproterozoic granitic magmatism in the Seridó-Jaguaribe domain, Borborema Province-NE Brazil. *Journal of South America Earth Sciences*, 32(4), 287-300. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2011.02.008>
- Hollanda, M. H. B. M., Souza Neto, J. A., Archanjo, C. J., Stein, H., Maia, A. C. (2017). Age of the granitic magmatism and the W-Mo mineralization in skarns of the Seridó belt (NE Brazil) based on zircon U-Pb (SHRIMP) and molybdenite Re-Os dating. *Journal of South American Earth Sciences*, 79, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2017.07.011>
- Ishihara, S. (1977). The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks. *Mining Geology*, 27(145), 293-305. <https://doi.org/10.11456/shigenchishitsu1951.27.293>
- Ishihara, S. (1981). The granitoid series and mineralization. In: B. J. Skinner (Ed.), *Seventy-Fifth Anniversary Volume*. Economic Geology, 75, p. 458-484. <https://doi.org/10.5382/AV75.14>
- Jardim de Sá, E. F. (1994). *A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na cadeia Brasileira/Pan-Africana*. Tese (Doutorado). Brasília: Instituto de Geociências - Universidade de Brasília.
- 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(1), 50-57.
- Jardim de Sá, E. F., Macedo, M. H. F., Torres, H. H. F., Kawashita, K. (1988). Geocronology of metaplutonics and the evolution of supracrustal belts in the Borborema Province, NE Brasil. *VII Congresso Latino-Americano de Geologia*, 49-62. *Anais...* Belém: SBG/DNPM.
- Lameyre, J. (1987). Granites and evolution of the crust. *Revista Brasileira de Geociências*, 17(4), 349-359.
- Legrand, J. M., Deutsch, S., Souza, L. C. (1991). Datação U/Pb e granitogênese do Maciço de Acari-RN. *XIV Simpósio de Geologia do Nordeste*, 12, 172-174. *Anais...* Recife: SBG.
- Li, X. H., Li, Z. X., Li, W. X., Liu, Y., Yuan, C., Wei, G., Qi, C. (2007). U-Pb zircon, geochemical and Sr-Nd-Hf isotopic constraints on age and origin of Jurassic I-and A-type granites from central Guangdong, SE China: a major igneous event in response to foundering of a subducted flat-slab? *Lithos*, 96(1-2), 186-204. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2006.09.018>
- Lopez-Sanchez, M. A., Aleinikoff, J. N., Marcos, A., Martínez, F. J., Llana-Fúnez, S. (2016). An example of low-Th/U zircon overgrowths of magmatic origin in a late orogenic Variscan intrusion: the San Ciprián massif (NW Spain). *Journal of the Geological Society*, 173(2), 282-291. <https://doi.org/10.1144/jgs2015-071>
- 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. <https://doi.org/10.1029/jz069i004p00759>
- Macêdo Filho, A. A., Souza, Z. S. (2016). Geoquímica do magmatismo Ediacarano Serra do Caramuru, NE da Província Borborema, RN, Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, 16(3), 117-142. <https://doi.org/10.11606/issn.2316-9095.v16i3p117-142>
- Maia, S. M. C. (2004). *Estudo integrado geológico/tecnológico de rochas ornamentais: os granitos flores e jacarandá, RN*. Dissertação (Mestrado). Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Maniar, P. D., Piccoli, P. M. (1989). Tectonic discrimination of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, 101(5), 635-643. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1989\)101<0635:tdog>2.3.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1989)101<0635:tdog>2.3.co;2)

- McDonough, W. F., Sun, S. S. (1995). The composition of the Earth. *Chemical Geology*, 120(3-4), 223-253. [https://doi.org/10.1016/0009-2541\(94\)00140-4](https://doi.org/10.1016/0009-2541(94)00140-4)
- Medeiros, V. C., Cavalcante, R., Cunha, A. L. C., Costa, A. P., Sá, J. M., Silveira, F. V., Brilhante, J., Silva, M. A., Dantas, A. R. (2017). Magmatismo Ediacarano-Cambriano da Região das mineralizações de W de Currais Novos (RN), Domínio Rio Piranhas-Seridó. *XXVII Simpósio de Geologia do Nordeste. Resumos...* João Pessoa: SBG.
- Medeiros, V. C., Nascimento, M. A. L., Galindo, A. C., Dantas, E. L. (2012). Augen gnaisses riacianos no domínio Rio Piranhas-seridó - Província Borborema, Nordeste do Brasil. *Geologia USP. Série Científica*, 12(2), 3-14. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X2012000200001>
- 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(1), 161-164. <https://doi.org/10.25249/0375-7536.2000301161164>
- Nascimento, M. A. L., Galindo, A. C., de 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 America Earth Science*, 58, 281-299. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2014.09.008>
- 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(1), 4-25.
- Pearce, J. A. (1996). Sources and settings of granitic rocks. *Episodes*, 19(4), 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. <https://doi.org/10.1093/petrology/25.4.956>
- Rickwood, P. C. (1989). Boundary lines within petrologic diagrams which use oxides of major and minor elements. *Lithos*, 22(4), 247-263. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(89\)90028-5](https://doi.org/10.1016/0024-4937(89)90028-5)
- Rogers, J. J. W., Greenberg, J. K. (1981). Trace elements in continental margin magmatism. Part III. Alkali granites and their relationship to cratonization. *Geological Society of America Bulletin*, 92(1), 6-9. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1981\)92<6:teicmp>2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1981)92<6:teicmp>2.0.co;2)
- Santos, E. J. (1995). *O complexo granítico Lagoa das Pedras: acreção e colisão na região de Floresta (Pernambuco), Província Borborema*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências - Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.44.1995.tde-28102015-094036>
- Santos, E. J. (1999). *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil: carta geológica*. Belém do São Francisco, Folha SC.24-X-A. Escala 1:250.000. Brasília: CPRM. CD-ROM.
- Sato, K., Tassinari, C. C. G., Basei, M. A. S., Siga Júnior, O., Onoe, A. T., De Souza, M. D. (2014). Sensitive High Resolution Ion Microprobe (SHRIMP IIe/MC) of the Institute of Geosciences of the University of São Paulo, Brazil: Analytical method and first results. *Geologia USP. Série Científica*, 14(3), 3-18. <https://doi.org/10.5327/Z1519-874X201400030001>
- Sial, A. N. (1987). Granitic rocks in northeast Brazil. *1st International Symposium of Granites Pegmatites*, 61-69. *Anais...* Salvador.
- Siégel, C., Bryan, S. E., Allen, C. M., Gust, D. A. (2018). Use and abuse of zircon-based thermometers: A critical review and a recommended approach to identify antecrystic zircons. *Earth-Science Reviews*, 176, 87-116. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.08.011>
- Silva, M. A. (2016). *Magmatismo granítico neoproterozoico no Domínio Rio Piranhas-Seridó: cartografia e petrografia do Pluton Serra da Acauã*. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Souza, V. O. (2016). *Magmatismo granítico na porção central do domínio Rio Piranhas-Seridó, Província Borborema: geologia e petrologia do Stock Flores*. Dissertação (Mestrado). Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- Souza, V. O., Galindo, A. C., Alves da Silva, F. C. (2017). O Stock Flores: Exemplo de magmatismo granítico tipo-A no Domínio Rio Piranhas-Seridó, NE da Província Borborema. *Pesquisas em Geociências*, 44(2), 345-366. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.78278>
- Souza, Z. S., Kalsbeek, F., Deng, X. D., Frei, R., Kokfelt, T. F., Dantas, E. L., Li, J. W., Pimentel, M. M., Galindo, A. C. (2016). Generation of continental crust in the northern part of the Borborema Province, northeastern Brazil, from Archaean to Neoproterozoic. *Journal of South America Earth Science*, 68, 68-96. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2015.10.006>

- Souza, Z. S., Martin, H., Macedo, M. H. F., Peucat, J. J., Jardim de Sá, E. F. (1993). Un segment de croûte continentale juvénile d'âge protérozoïque inférieur: le Complexe de Caicó (Rio Grande do Norte, NE-Brésil). *C. R. Académie des Sciences*, 316(2), 201-208.
- Souza, Z. S., Martin, H., Peucat, J. J., Jardim de Sá, E. F., Macedo, M. H. F. (2007). Calcalkaline magmatism at the Archean-Proterozoic transition: the Caicó complex basement (NE Brazil). *Journal of Petrology*, 48(11), 2149-2185. <https://doi.org/10.1093/petrology/egm055>
- Streckeisen, A. L. (1976). To each plutonic rock it's a proper name. *Earth-Science Reviews*, 12(1), 1-33. [https://doi.org/10.1016/0012-8252\(76\)90052-0](https://doi.org/10.1016/0012-8252(76)90052-0)
- Takahashi, M., Aramaki, S., Ishihara, S. (1980). Magnetite-series/ilmenite-series vs. I-type/S-type granitoids. *Mining Geology*, Special Issue, 8, 13-28.
- Thompson, R. N. (1982). Magmatism of the British tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*, 18(1), 49-107. <https://doi.org/10.1144/sjg18010049>
- Tuttle, O. F., Bowen, N. L. (1958). Origin of granite in the light of experimental studies in system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8 - \text{KAlSi}_3\text{O}_8 - \text{SiO}_2 - \text{H}_2\text{O}$. *Geological Society of America Memoirs*, 74, 153. <https://doi.org/10.1130/mem74>
- Van Schmus, W. R., Brito Neves, B. B., Hackspacher, P. C., Babinski, M., Fetter, A. H., Dantas, E. L. (1997). *Application of U-Pb and Sm-Nd geochronology to understanding the geotectonic history of the Borborema Province, NE Brazil and its implications for the evolution of West Gondwana*. Extended Abstracts. Campos do Jordão: FAPESP/CNPq CPRM.
- Van Schmus, W. R., Brito Neves, B. B., Williams, I. S., Hackspacher, P. C., Fetter, A., Dantas, E. L., Babinski, M. (2003). The Seridó Group of NE Brazil, a late Neoproterozoic pre- to syn-collisional basin in West Gondwana: insights from SHRIMP U-Pb detrital zircon ages and Sm-Nd crustal residence (TDM) ages. *Precambrian Research*, 127(4), 284-327. [https://doi.org/10.1016/s0301-9268\(03\)00197-9](https://doi.org/10.1016/s0301-9268(03)00197-9)
- 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(2), 295-304. [https://doi.org/10.1016/0012-821x\(83\)90211-x](https://doi.org/10.1016/0012-821x(83)90211-x)
- 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(1-3), 19-30. [https://doi.org/10.1016/0031-9201\(84\)90031-1](https://doi.org/10.1016/0031-9201(84)90031-1)
- Whalen, J. B., Currie, K. L., Chappell, B. W. (1987). A-type granites: Geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 95(4), 407-419. <https://doi.org/10.1007/bf00402202>
- Wones, D. R. (1989). Significance of the assemblage titanite + magnetite + quartz in granitic rocks. *American Mineralogist*, 74(7-8), 744-749.
- Wu, F. Y., Jahn, B. M., Wilde, S. A., Lo, C. H., Yui, T. F., Lin, Q., Ge, W., Sun, D. Y. (2003). Highly fractionated I-type granites in NE China (I): geochronology and petrogenesis. *Lithos*, 66(3-4), 241-273. [https://doi.org/10.1016/s0024-4937\(02\)00222-0](https://doi.org/10.1016/s0024-4937(02)00222-0)
- Yang, X. (2017). Lithos Estimation of crystallization pressure of granite intrusions. *Lithos*, 286-287, 324-329. <https://doi.org/10.1016/j.lithos.2017.06.018>
- Zhang, Y., Yang, J. H., Sun, J. F., Zhang, J. H., Chen, J. Y., Li, X. H. (2015). Petrogenesis of Jurassic fractionated I-type granites in Southeast China: Constraints from whole-rock geochemical and zircon U-Pb and Hf-O isotopes. *Journal of Asian Earth Sciences*, 111, 268-283. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2015.07.009>
- Zhou, Z., Ma, C., Xie, C., Wang, L., Liu, Y., Liu, W. (2016). Genesis of highly fractionated I-type granites from Fengshun complex: Implications to tectonic evolutions of South China. *Journal of Earth Science*, 27(3), 444-460. <https://doi.org/10.1007/s12583-016-0677-3>
- Zhu, D., Mo, X., Wang, L., Zhao, Z., Niu, Y., Zhou, C., Yang, Y. (2009). Petrogenesis of highly fractionated I-type granites in the Zayu area of eastern Gangdese, Tibet: Constraints from zircon U-Pb geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 52(9), 1223-1239. <https://doi.org/10.1007/s11430-009-0132-x>
- Zhu, R. Z., Lai, S. C., Qin, J. F., Zhao, S. W. (2015). Early-Cretaceous highly fractionated I-type granites from the northern Tengchong block, western Yunnan, SW China: Petrogenesis and tectonic implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 100, 145-163. <https://doi.org/10.1016/j.jseae.2015.01.014>