

Petrologia e geoquímica dos litotipos neoarqueanos da região da Serra da Babilônia (Bom Sucesso – Minas Gerais): implicações geotectónicas

Petrology and geochemistry of neoproterozoic lithotypes from the region of the Serra da Babilônia (Bom Sucesso – Minas Gerais): geotectonic implications

D. A. Miranda^{1*}, A. O. Chaves¹, V. P. Oliveira¹

Recebido em 17/08/2018 / Aceite em 16/04/2019

Publicado online em outubro de 2019

© 2018 LNEG – Laboratório Nacional de Energia e Geologia IP

Artigo original
Original article

Resumo: Na porção sul do Cratão São Francisco (CSF), a oeste de Bom Sucesso (Minas Gerais-Brasil), ocorrem seis litotipos neoarqueanos metamorfizados: (I) gnaisse com biotite-muscovite, relacionado com as rochas mais antigas da região; (II) óidemetagranitóide Capela São Francisco relacionado com os granitos pós-colisionais a intra-placa de 2750 Ma, ricos em K e com origem em fusões crustais regionais. É peraluminoso, com baixo Ca e anomalias negativas de Ce e Eu; (III) metacharnockitos/metacharnoenderbitos pós-colisionais Rio do Amparo-Bom Sucesso (2720-2690 Ma). São rochas de fonte híbrida, de afinidade metaluminosas, calco-alcálicas e com depleção de Eu e Nb, derivadas de fontes mantélica e crustal; (IV) metaenderbitos/metacharnoenderbitos Babilônia (2730 Ma), metaluminosos, cálcicos a calco-alcálicos, ricos em Na, sem anomalias de Eu, porém com anomalias negativas de Nb, derivados de fonte máfica pobre em K; (V) metanoritos/metagabronoritos (2660 Ma) calco-alcálicos e (VI) metaultramáficas peridotíticas, sendo (V) o produto da diferenciação magmática de (VI). Em conjunto, estes litotipos registam a evolução neoarqueana de uma porção do sul do CSF na fase pós-colisional (extensional) correspondente ao evento Mamona, semelhante aos eventos neoarqueanos descritos em outros cratões.

Palavras-chave: Neoarqueano, sul do cratão São Francisco, petrologia, geotectónica.

Abstract: In the southern portion of the São Francisco Craton (SFC), west of the Bom Sucesso-MG city, six distinct neoproterozoic metamorphosed lithotypes can be identified: (I) a biotite-muscovite gneiss, apparently related to the oldest rocks of the region; (II) a metagranitoid called Capela São Francisco related to 2750 Ma post-collisional to intraplate granites widely found in the southern portion of SFC, which are rich in K. It is peraluminous, with low Ca and negative anomalies of Ce and Eu. This unit derives from partial melting of continental crust; (III) post-collisional metacharnockites and metacharnoenderbitos called Rio do Amparo-Bom Sucesso (2720-2690 Ma) derived from mantle and crustal sources, are metaluminous, calco-alkaline and with negative Eu and Nb anomalies; (IV) metaenderbitos and metacharnoenderbitos called Babilônia (2730 Ma), with origin from K-poor mafic source, are metaluminous, Na-rich, ranging from calcic to calco-alkaline, with fractionated REE pattern without Eu anomalies, but with Nb negative anomalies typical of magmatic arc; (V) magmatic arc calco-alkaline metanorites/metagabronorites (2660 Ma) and (VI) metaultramafic peridotites, with the first being the product of magmatic differentiation of the latter. They have each other similarities in the patterns of REE and spatial arrangement within the study area. Together, these Neoproterozoic lithotypes records the evolution of an important portion of the southern part of SFC on post-collisional extension stage related to

the Mamona event and is similar to the same age and tectonic context described in cratons of other continents.

Keywords: Neoproterozoic, southern São Francisco craton, petrology, geotectonics.

¹ Universidade Federal de Minas Gerais – Instituto de Geociências – Departamento de Geologia – Centro de Pesquisa Manoel Teixeira da Costa (CPMTC-IGC-UFMG). Av. Antônio Carlos, 6627, Belo Horizonte – MG, CEP 31270-901.

*Autor correspondente / Corresponding author: miranda.geologia@gmail.com

1. Introdução

O fim do Arqueano foi um período de mudanças fundamentais em muitos aspetos do registo geológico. Segundo Windley (1995), cratões arqueanos são normalmente compostos por três unidades geológicas: (1) soco gnáissico de composição tonalítica-trondhjémítica-granodiorítica (TTG); (2) bacias vulcanossedimentares do tipo *greenstone belts* e complexos plutónicos ultramáficos do tipo *sill* (Marshall eand Schønswandt, 1999); (3) óidegranitóides intrusivos.

O Neoarqueano é marcado pela geração de rochas óidegranitóides/charnockitóides, as quais, segundo Laurent *et al.* (2014) podem ser classificadas em quatro grupos: (1) grandes corpos de tonalitos, trondhjemitos e granodioritos (TTGs), com origem a partir de fusão parcial de rochas máficas e suas correlatas metamorfizadas; (2) monzodioritos e granodioritos ricos em Mg, Fe e K, metaluminosos, denominados sanukitóides, derivados da mistura entre o manto peridotítico e um componente rico em elementos incompatíveis; (3) granitos biotíticos e óidegranitóides de duas micas, peraluminosos, formados a partir da fusão de litologias crustais mais velhas (TTGs e rochas metassedimentares, respectivamente) e, (4) misturas híbridas de granitóides com alto-K que possuem características dos três primeiros grupos.

Considerando os estudos anteriores sobre a diversidade de granitóides/charnockitóides arqueanos em áreas cratónicas (ex. Almeida *et al.*, 2011, 2013; Dey *et al.*, 2014) e também os estudos sobre sua evolução geotectónica (ex. Percival *et al.*, 2006; Smithies *et al.*, 2007; van Kranendonk *et al.*, 2007),

Laurent *et al.* (2014) perceberam que a mesma sequência é sistematicamente repetida em diversos terrenos Arqueanos, havendo um estágio com duradouro período (200 a 500 Ma) de magmatismo TTG relacionado à subducção pré-colisional (Estágio 1) e, subsequente, outro, com duração bem menor (20 a 150 Ma), onde os demais grupos de granitos se formam em conjunto ou em uma rápida sucessão (Estágio 2), com gênese relacionada a processos sin- a pós-colisionais.

Na porção sul do Cratão do São Francisco, muitos corpos de gnaisses charnockíticos e enderbíticos (Jordt-Evangelista, 1996; Quéméneur *et al.*, 2003; Paciullo *et al.*, 2007; Campos *et al.*, 2003), bem como diversos corpos de metagranitoides ricos em K (Carneiro, 1992; Noce, 1995; Teixeira *et al.*, 1996; Machado *et al.*, 1996; Romano *et al.*, 2013) e complexos máfico-ultramáficos metamorfizados (Engler *et al.*, 2002; Campos *et al.*, 2003; Quéméneur *et al.*, 2003; Paciullo *et al.*, 2007) foram gerados entre 3200 Ma e 2600 Ma. Todos estes litotipos são verificados no entorno da Serra da Babilônia (na região de Bom Sucesso – MG) e seus aspectos petrográficos, geoquímicos e geocronológicos são aqui discutidos dentro do modelo da evolução geodinâmica de terrenos neoarqueanos mundiais sugerido por Laurent *et al.* (2014) e da perspectiva da evolução neoarqueana do setor sul do Cratão do São Francisco proposta por Albert *et al.* (2016), para se buscar o entendimento da sua petrologia com suporte em dados geocronológicos disponíveis na literatura.

2. Enquadramento Geológico

A porção meridional do Cratão São Francisco (CSFM) é composta por terrenos arqueanos (granito-gnáissico-migmatíticos e *greenstone belts* do Supergrupo Rio das Velhas), rochas paleoproterozoicas (metassedimentares e clástico-químicas do Supergrupo Minas) e coberturas neoproterozóicas (sedimentos pelito-carbonáticos do Grupo Bambuí). Os complexos metamórficos denominados Belo Horizonte, Bonfim e Campo Belo compõem os terrenos *Greenstone Belts* arqueanos. A maior parte destes complexos é representada por gnaisses e migmatitos de composição tonalito-trondhjemito-granodiorito (TTG), cujos protólitos se formaram entre 3200 Ma e 2900 Ma. Granitoides cálcio-alcalinos sintectônicos, com idades em torno de 2780 Ma, granitoides pós-tectônicos formados entre 2750 e 2600 Ma, além de intrusões máficas e máfico-ultramáficas (Noce *et al.*, 1998; Teixeira *et al.*, 2000), são encontrados no meio dos terrenos TTG.

A área de estudo está inserida no segmento crustal síalico do CSFM. Este segmento é constituído predominantemente por gnaisses, granitoides, anfíbolitos, rochas máficas, ultramáficas e charnockitos (Carneiro e Barbosa, 2008), que foram inicialmente agrupados nos complexos metamórficos Divinópolis e Barbacena por Machado Filho *et al.* (1983). Posteriormente Teixeira *et al.* (1996) uniram os complexos metamórficos Divinópolis e Barbacena num só complexo, que foi por eles denominado Complexo Metamórfico Campo Belo (CMCB), de evolução geológica com início no Mesoarqueano (Fig. 1). A maioria das rochas do CMCB foi submetida a condições metamórficas que atingiram as fácies anfíbolito e granulito (Fernandes e Carneiro, 2000). Todo esse conjunto encontra-se cortado por diques máficos (diabases e anfíbolitos) de várias gerações descritos por Chaves (2013).

A área de estudo, situada na porção oeste da Serra de Bom Sucesso, representa um terreno arqueano constituído por gnaisses moscovito-biotitíficos, metacharnockitos a metacharnobiotitos,

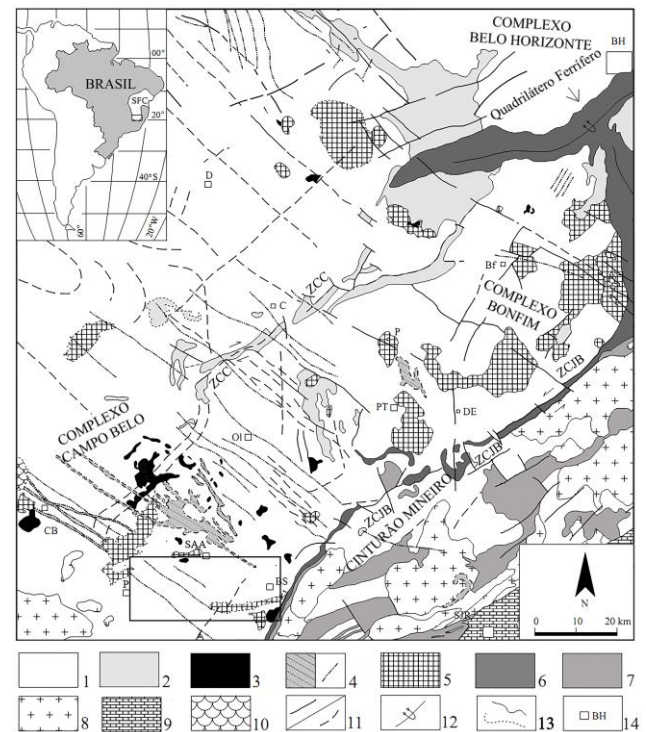


Figura 1. Mapa geológico esquemático da porção sul do Cratão São Francisco mostrando os principais corpos plutônicos Arqueanos e Paleoproterozoicos. (Extraído de Campos *et al.*, 2003). 1 – Embasamento Arqueano parcialmente retrabalhado no Paleoproterozoico; 2 – *Greenstone Belt* Rio das Velhas; 3 – Suítes ultramáficas plutônicas Neoarqueanas; 4 – Gabros e dioritos Neoarqueanos a Mesoproterozoico; 5 – Granitoides Neoarqueanos; 6 – Supergrupo Minas; 7 – Sequências do tipo *greenstone belt* indiscriminadas; 8 – Granitoides Paleoproterozoicos do Cinturão Mineiro; 9 – Grupos São João Del Rey/Andrelândia; 10 – Cobertura cratônica neoproterozoica indivisa – Grupo Bambuí; 11 – Falhas e fraturas (ZCC = Zona de Cisalhamento Cláudio; ZCJB = Zona de Cisalhamento Jeceaba-Bom Sucesso); 12 – Planos Axiais; 13 – Contatos litológicos; 14 – Cidades: BH = Belo Horizonte, Bf = Bonfim, BS = Bom Sucesso, CB = Campo Belo, C = Cláudio, DE = Desterro de Entre Rios, D = Divinópolis, Ol = Oliveira, P = Perdões, PT = Passa Tempo, SAA = Santo Antônio do Amparo, SJR = São João Del Rei. O retângulo preto delimita a área de estudo.

Figure 1. Schematic geological map from the Southern part of the São Francisco Craton showing the main Archean and Paleoproterozoic plutonic bodies. (Extracted from Campos *et al.*, 2003). 1 – Archean basement partially reworked in the Paleoproterozoic; 2 – *Greenstone Belt* Rio das Velhas; 3 – Neoproterozoic plutonic ultramafic suites; 4 – Neoproterozoic gabbros and diorites; 5 – Neoproterozoic granitoids; 6 – Minas supergroup; 7 – Indiscriminate *greenstone belt* sequences; 8 – Paleoproterozoic granitoids from Mineiro belt; 9 – São João Del Rey/Andrelândia group; 10 – Neoproterozoic cratonic cover/Bambuí group; 11 – Faults and fractures (ZCC = Cláudio Shear zone; ZCJB = Jeceaba-Bom Sucesso Shear zone); 12 – Axial planes; 13 – Lithological contacts; 14 – Towns: BH = Belo Horizonte, Bf = Bonfim, BS = Bom Sucesso, CB = Campo Belo, C = Cláudio, DE = Desterro de Entre Rios, D = Divinópolis, Ol = Oliveira, P = Perdões, PT = Passa Tempo, SAA = Santo Antônio do Amparo, SJR = São João Del Rei. The black rectangle delimits the study area.

com presença de rochas metaultramáficas e metamáficas, além de metagranitoides potássicos (Quéméneur *et al.*, 2003). O mapa geológico da área (Fig. 2) foi realizado com auxílio de dados aerogeofísicos disponíveis (Lasa Engenharia e Prospecções, 2001) e geologia de campo.

Dados de Carneiro *et al.* (2007) indicam que os gnaisses do CMCB possuem afinidade calco-alcalina e sofreram metamorfismo de fácies anfíbolítica a granulítica. Teixeira *et al.* (1998) realizaram datações com zircão pelo método SHRIMP (U-Pb).

Os resultados revelaram três grupos de idades, interpretadas como episódios de geração de fundidos: (1) 3205 ± 17 Ma, interpretada como idade reliquiar (xenocristais de zircão); (2)

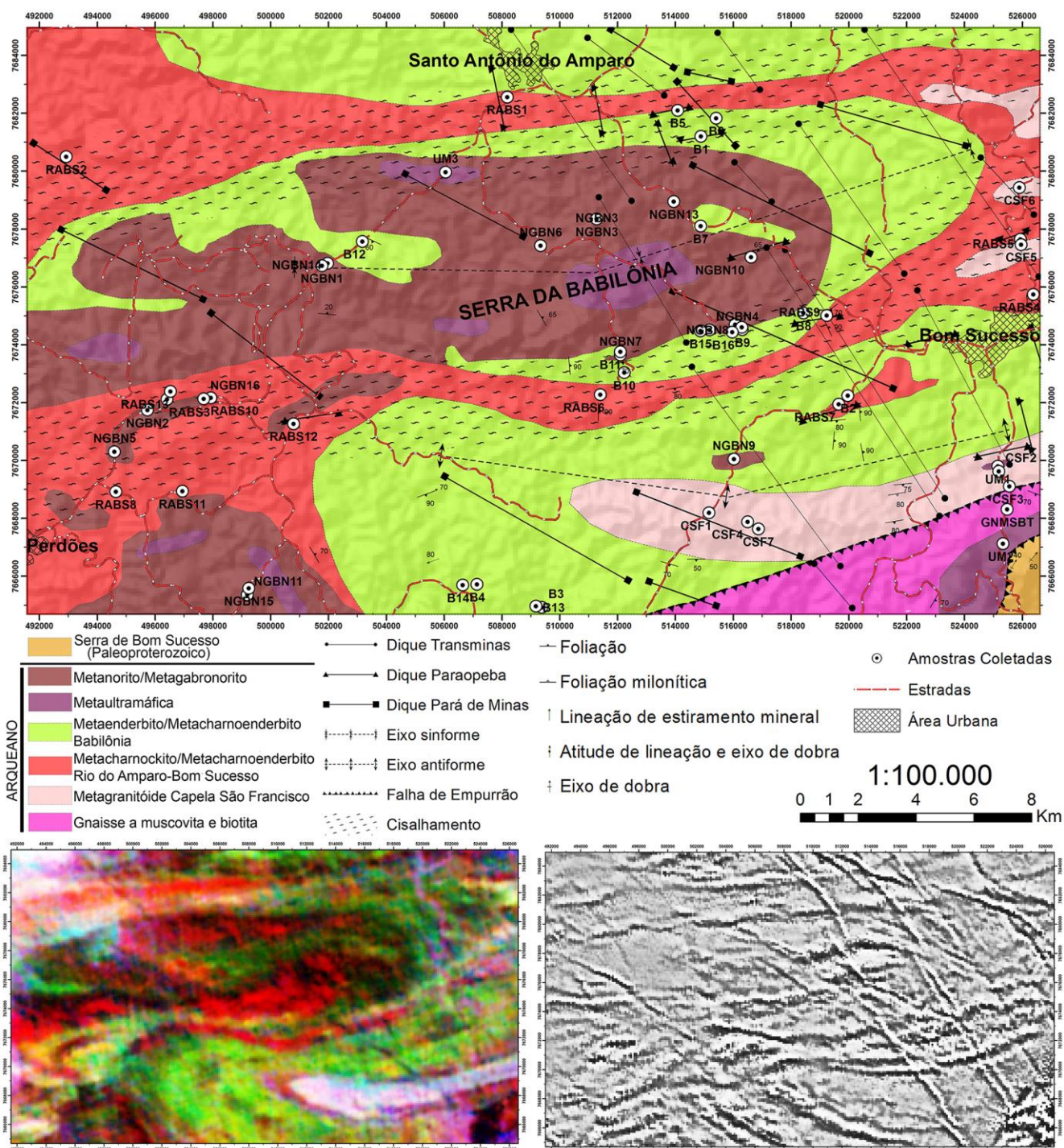


Figura 2. Mapa geológico sugerido para área de estudo. Abaixo, mapas aerogeofísicos, sendo à esquerda o mapa gama espectrométrico ternário de falsa cor (K – Th – U) e à direita o mapa magnetométrico da 2ª derivada vertical, extraídos de Lasa Engenharia e Prospecções (2001).

Figure 2. Suggested geological map for study area. Aerogeophysical maps: ternary gamma-spectrometric map (K – Th – U) on the left, second vertical derivative magnetometric map on the right, extracted from Lasa Engenharia e Prospecções (2001).

3047 ± 25 Ma, interpretada como idade do evento magmático principal; (3) 2839 ± 17 Ma, considerada como idade de migmatização. Rochas ultramáficas (peridotitos e piroxenitos serpentinizados) e máficas (metagabros) acamadas encontradas na área mostram alternância de lâminas/camadas delgadas mais salientes de metapiroxenito e outras menos salientes de metaperidotito (Paciullo *et al.*, 2007). Dados de Carneiro *et al.* (1997) mostram idade isocrônica Sm-Nd de 2755 ± 62 Ma

enquanto Paciullo *et al.* (2007) encontraram idade-modelo Sm-Nd_{TD} de 3035 Ma e εNd = 0,9 para estas rochas. Segundo Pinese (1997), os corpos gabro-noríticos metamorfizados do interior da área de estudo apresentam uma idade de 2658 ± 44 Ma (isócrona Sm-Nd de rocha total e concentrados minerais), interpretada por ele como a idade de intrusão. No sudeste da área de estudo, na borda da Serra de Bom Sucesso, ocorre o Maciço metalultramáfico do Morro das Almas constituído por rochas

formadas principalmente por serpentina com raros vestígios de olivina. Uma zona de cisalhamento na porção oriental do maciço tem xistosidade paralela à orientação da Serra de Bom Sucesso. Junto a esta, observa-se uma lente tectônica de gnaiss TTG fortemente milonitizada (Quéméneur *et al.*, 2003).

Para os metaenderbitos/metacharnoenderbitos Babilônia, representados por rochas mesocráticas levemente foliadas de granulação variando de média a grossa, Miranda e Chaves (2016) obtiveram uma idade de 2657 ± 36 Ma (U-Th-Pb Microsonda Eletrônica) em monazites. Esta idade é interpretada como idade de metamorfismo e está próxima da idade de cristalização de 2730 Ma (Pb-Pb, evaporação de zircão) encontrada por Quéméneur *et al.* (2003) para rochas similares locais.

Quanto aos litótipos, que variam de charnockitos a charnoenderbitos, Quéméneur *et al.* (2003) definiram alguns como granitóides Bom Sucesso e obtiveram idade de 2708 Ma (isócrona Rb-Sr). Mais tarde, Paciullo *et al.* (2007) também no estudo de alguns desses litótipos, denominou-os de granitóides Rio do Amparo e sugeriram idade próxima a $2705 \text{ Ma} \pm 20 \text{ Ma}$ (U-Pb em zircão). Recentemente, Moreno *et al.* (2017) dataram esta unidade entre 2720 Ma e 2690 Ma (U-Pb em zircão). O Granitóide Rio do Amparo foi descrito por Carneiro *et al.* (2007) como um ortognaiss porfirítico de afinidade calco-alcalina, meso a leucocrático, de cores cinza a esbranquiçado, que se encontra metamorfozido em fácies anfibolito-granulítica. Dependendo da intensidade da deformação sofrida, a rocha apresenta foliação metamórfica-tectônica que pode variar de incipiente até fortemente milonítica. Usando o método Sm-Nd, Paciullo *et al.* (2007) encontraram uma idade modelo de 2883 Ma (idade de extração do protólito ígneo).

O Granitóide Bom Sucesso (Quéméneur *et al.*, 2003) tem as mesmas feições petrográficas do Granitóide Rio do Amparo (Paciullo *et al.*, 2007), apresenta-se incipientemente gnaissificado e em ambos são descritos a presença de ortopiroxênio (hiperstênio) na composição da rocha, o que leva a entender que sejam rochas charnockíticas.

Quéméneur *et al.* (2003) descrevem um corpo de gnaiss que ocorre em uma faixa estreita e orientada E-W, entre a Serra de Bom Sucesso e a Fazenda São Sebastião, com comprimento de 15 km. Mais tarde, Romano *et al.* (2013) descreveram estas rochas como intrusões potássicas arqueanas. O gnaiss é uma rocha leucocrática com porfiroblastos de feldspato potássico, medindo de 3 a 6 cm, denominado metagranitóide Capela São Francisco. Este corpo datado em 2750 Ma (U-Pb em zircão) por Moreno *et al.* (2017) é relacionado aos granito-gnaisses de mesma idade, ricos em potássio, descritos por Romano *et al.* (2013) no sul do Cratão São Francisco.

3. Materiais e métodos

Nos laboratórios do Instituto de Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (IGC/UFMG), foram feitas 78 seções delgadas de rochas utilizadas nos estudos petrográficos em microscópio. Foram enviadas 30 amostras de rocha pulverizada em moinho de panelas de tungstênio ao Laboratório SGS-Geosol. Após fusão com metaborato de lítio e digestão nítrica diluída, os elementos maiores e 5 elementos traços (Ba, Nb, Sr, Y, Zr) foram analisados por ICP-OES (Espectrometria de Emissão Ótica com Plasma Indutivamente Acoplado). Já a técnica de ICP-MS (Espectrometria de Massas com Plasma Indutivamente Acoplado) foi aplicada para 23 elementos traço sendo 14 deles terras-raras. Os limites de detecção foram geralmente em torno 0,01% para os óxidos maiores e 1 ppm para os demais e a perda ao fogo ocorreu por diferença de massa após aquecimento a 1000 °C. Em seguida, para análise dos dados geoquímicos obtidos, foi

utilizado o programa Geoplot (Zhou e Li, 2006), um suplemento para Microsoft Excel.

4. Resultados

4.1. Petrografia

A partir das amostras coletadas em campo (Fig. 3), foi possível caracterizar com base na petrografia e geoquímica seis unidades geológicas: gnaiss biotítico-muscovítico (Fig. 3A), metagranitóide Capela São Francisco (Fig. 3B), metacharnockito/metacharnoenderbitos Rio do Amparo-Bom Sucesso (Fig. 3C), metaenderbitos/metacharnoenderbitos Babilônia (Fig. 3D), metaultramáfica (Fig. 3E), metanorito/metagabronorito (Fig. 3F).

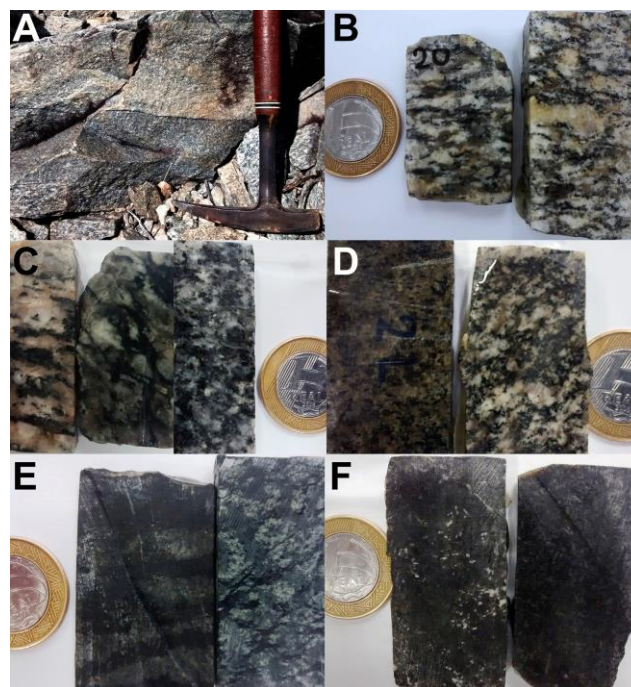


Figura 3. Amostras macroscópicas de todas as unidades. (A) biotita-muscovita gnaiss, mostrando seu caráter bandado; (B) metagranitoide Capela São Francisco; (C) metacharnockito/metacharnoenderbitos Rio do Amparo-Bom Sucesso; (D) metaenderbitos/metacharnoenderbitos Babilônia; (E) metaultramáfica; (F) metanorito/metagabronorito.

Figure 3. Macroscopic samples. (A) biotite-muscovite gneiss; (B) Capela São Francisco Metagranitoid; (C) Rio do Amparo-Bom Sucesso metacharnockite/metacharnoenderbite; (D) Babilônia metaenderbite/metacharnoenderbite; (E) metaultramafic; (F) Metanorite/metagabronorite.

Macroscopicamente, é uma rocha com bandamento composicional dado por minerais máficos e félsicos (Fig. 3A) com cristais de granulação variando de fina a média, encontra-se parcialmente milonitizada. Microscopicamente a rocha apresenta textura granolepidoblástica (Fig. 5A), com porfiroblastos de K-feldspato e foliação marcada pela biotite. O mineral mais abundante é o quartzo e seus cristais encontram-se recrystalizados com formação de subgrãos e extinção ondulante, eventualmente aparecendo no formato de fita. O contacto entre os grãos varia de interlobado a poligonal. A microclina ocorre junto ao quartzo, como agregados minerais na matriz da rocha e também como porfiroblasto. A ocorrência do plagioclase predomina na forma de porfiroblastos saussuritizados. A muscovite ocorre junto com a biotite, marcando a foliação e alguns cristais maiores são observados na porção félsica, sem orientação aparente. Como acessórios, é possível observar titanite, zircão, apatite e opacos.

4.1.2. Metagranitóide Capela São Francisco

Macroscopicamente é uma rocha mesocrática a leucocrática e foliação marcada pelos minerais máficos (Fig. 3B). Ao microscópio apresenta textura granolepidoblástica e observam-se os seguintes minerais principais: quartzo, microclina, plagioclásio e biotita (Fig. 5B) e como minerais acessórios observa-se: apatite, zircão, muscovite, alanite e opacos. O quartzo ocorre com extinção ondulante, formação de subgrãos e com contactos variando de interlobados a poligonais. Microclina e plagioclase compõem agregados granoblásticos na rocha e às vezes aparecem como pórfiros. No contacto entre a microclina e o plagioclásio é possível observar intercrescimento mimerquítico e o plagioclásio aparece saussuritizado. A biotite marca uma foliação incipiente e, por vezes, encontra-se cloritizada. O metagranitóide Capela São Francisco é classificado como granito no diagrama modal QAP (Fig. 4). A tabela de classificação modal das unidades metagraníticas é apresentada no Anexo 2.

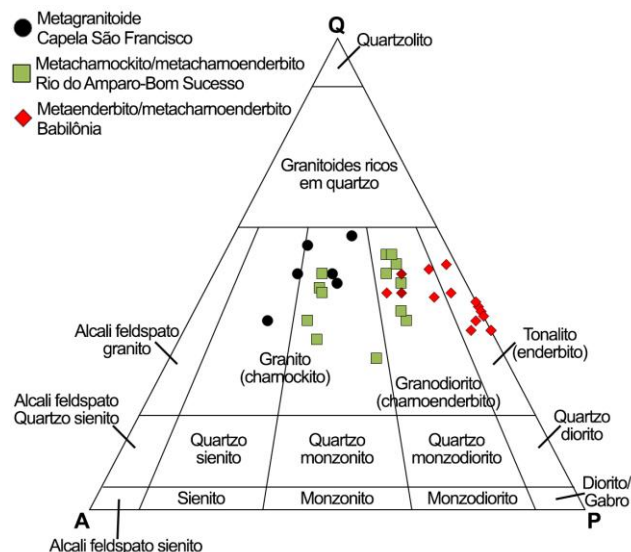


Figura 4. Diagrama de classificação modal QAP (Streckeisen, 1974) para as unidades metagraníticas.

Figure 4. QAP modal classification diagram (Streckeisen, 1974) for metagranitic units.

4.1.3. Metacharnockito/metacharnoenderbitto Rio do Amparo-Bom Sucesso

Macroscopicamente, trata-se de uma rocha mesocrática a leucocrática de granulação média a grosseira e com foliação bem marcada (Fig. 3C). Ao microscópio apresenta textura variando de granolepidoblástica a granonematoblástica dada por agregados de quartzo e feldspatos e por biotite e anfíbola, substituindo restos de ortopiroxena. Como mineralogia principal apresenta quartzo, plagioclase, microclina e biotite, com porções de anfíbola, biotite e ortopiroxena (Fig. 5C). Como acessórios, é possível observar titanite, zircão e opacos. O quartzo apresenta formas alongadas, extinção ondulante e o contato entre os grãos varia de interlobado a poligonal. A microclina, junto com o quartzo, aparece como agregados granoblásticos. A plagioclase, na sua maioria, encontra-se saussuritizada. A anfíbola e a biotite ocorrem, juntamente com uma massa de quartzo e opacos, substituindo o ortopiroxena ao longo da foliação.

O metacharnockito/metacharnoenderbitto Rio do Amparo-Bom Sucesso no diagrama modal QAP (Fig. 4) é classificado como granito e granodiorito e, por possuir ortopiroxena nsua

composição, os seus litótipos são chamados de charnockito e charnoenderbitto respetivamente.

4.1.4. Metaenderbitto/metacharnoenderbitto Babilônia

Esta unidade é composta por rochas mesocráticas de granulação variando de média a grossa, com orientação mineral mais ou menos acentuada (Fig. 3D). Na zona sul da área, as rochas aparecem epidotizadas. Em lâmina, é possível observar amostras de rochas quase isotrópicas, e também amostras deformadas e recristalizadas. Apresenta textura variando de granolepidoblástica a granonematoblástica dada por agregados de quartzo e feldspatos e por biotite e anfíbola, substituindo restos de ortopiroxena, têm mineralogia principal composta por quartzo, plagioclase, anfíbola, biotite e ortopiroxena (Fig. 5D). Entre os minerais acessórios, pode-se citar monazite, zircão e minerais opacos. A microclina ocorre em pequenas quantidades. O quartzo encontra-se recristalizado, apresentando extinção ondulante e com contatos entre os grãos variando de interlobado a poligonal. A plagioclase encontra-se levemente saussuritizada e apresenta intercrescimento mimerquítico, quando em contato com a microclina. Em alguns casos, a plagioclase apresenta uma textura do tipo *bleb* (exsolução de feldspato potássico, sob a qual aparecem pequenas bolhas no interior da plagioclase). A ortopiroxena aparece dispersa na lâmina. Anfíbola e biotite estão a substituir a ortopiroxena e quando a rocha se encontra deformada, eles marcam a foliação.

A unidade metaenderbitto/metacharnoenderbitto Babilônia no diagrama modal QAP (Fig. 4), é classificada como granodiorito e tonalito, entretanto, por possuir ortopiroxena na sua composição, são chamados de charnoenderbitto e enderbitto respetivamente.

4.1.5. Metaultramáfica

Mostra estrutura acamadada e textura cumulática, composta por bandas de orto/clinopiroxena e bandas de olivina serpentinizada. Espinela e minerais opacos são os minerais acessórios presentes nestas rochas (Fig. 3E, Fig. 5E), que foram classificadas como metaperidotito.

4.1.6. Metanorito/metagabronorito

Os litótipos desta unidade foram descritos por Quéméneur *et al.* (2003) na região da Serra da Babilônia (Fig. 3F) e ocorrem associados a rochas metaultramáficas. Geralmente aparecem com textura ígnea ofítica preservada (Fig. 5F), mas também são observadas porções recristalizadas. Apresentam a seguinte mineralogia: plagioclase, ortopiroxena e clinopiroxena em proporção relativa variável, e pequenas quantidades de anfíbólito, biotite e quartzo. Como acessórios, encontram-se minerais opacos. Em virtude de as proporções entre as piroxenas variarem, estas rochas podem corresponder às composições entre gabronorito e norito. A plagioclase é a maioria na unidade, anfíbola e biotite aparecem na borda das piroxenas.

4.2. Litoquímica

A composição química do metagranitóide Capela São Francisco é apresentada junto as demais unidades na tabela de química no Anexo 1. O teor em relação aos elementos maiores é de 74 e 78% para SiO₂, 11 e 13% para Al₂O₃ e conteúdos menores que 3% de FeO_T, 1,4% de CaO e 0,4% de MgO. As amostras têm alto valor de potássio (K₂O 3,5% a 5,4%) e sódio (Na₂O a 3,6%). Nodiagrama normativo An-Ab-Or (Fig. 6A) as amostras também são classificadas como granito. São rochas fracamente peraluminosas, com valores A/CNK entre 1,01 e 1,06, com

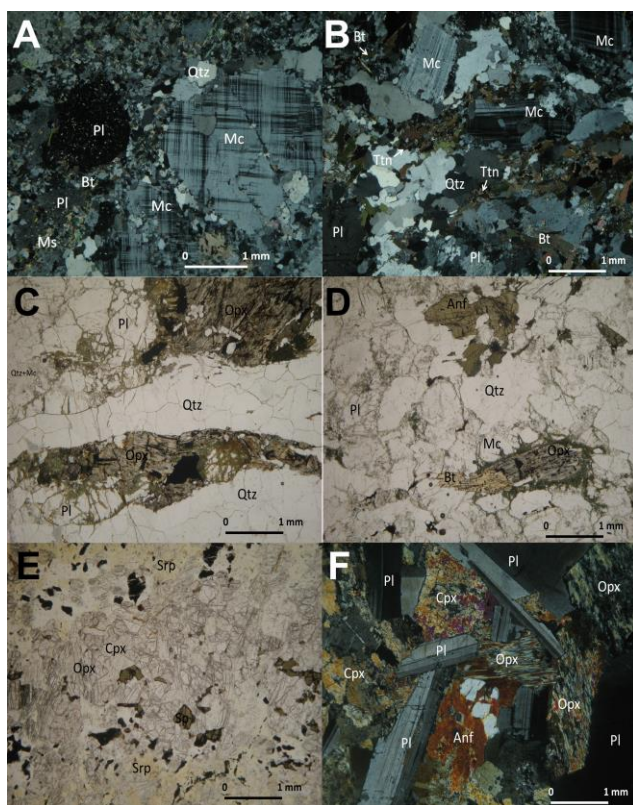


Figura 5. Fotomicrografias de todas as unidades. (A) Biotita-muscovita gnaiss sob nicóis cruzados; (B) metagranitóide Capela São Francisco sob nicóis cruzados; (C) metacharnockito/metacharnoderbite Rio do Amparo-Bom Sucesso sob nicóis descruzados; (D) metaenderbito/metacharnoderbite Babilônia sob nicóis descruzados; (E) metaultramáfica sob nicóis descruzados; (F) metanorite/metagabronorite sob nicóis cruzados. Anf – Anfibólio, Bt – Biotita, Cpx – Clinopiroxênio, Mc – Microclina, Ms – Muscovita, Opx – Ortopiroxênio, Pl – Plagioclásio, Qtz – Quartzo, Sp – Espinélio, Srp – Serpentina, Ttn – Titanita.

Figure 5. Thin sections. (A) Biotite-muscovite gneiss; cross-polarized light [XPL]; (B) Capela São Francisco Metagranitoid; XPL; (C) Rio do Amparo-Bom Sucesso metacharnockite/metacharnoderbite; plane-polarized light [PPL]; (D) Babilônia metaenderbite/metacharnoderbite; PPL; (E) Metaultramáfica; PPL; (F) Metanorite/metagabronorite; XPL. Anf – Amphibole, Bt – Biotite, Cpx – Clinopyroxene, Mc – Microcline, Ms – Muscovite, Opx – Orthopyroxene, Pl – Plagioclase, Qtz – Quartz, Sp – Spinel, Srp – Serpentine, Ttn – Titanite.

exceção da amostra CSF5, fortemente peraluminosa, com valor A/CNK de aproximadamente 1,38 (Fig. 6B). De acordo com o diagrama MALI ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$) versus sílica (Fig. 6C), são rochas que são projetadas no campo dos leucogranitos peraluminosos. No diagrama tectônico Rb x Y + Nb (Fig. 6D) são caracterizados como granitos pós-colisionais a intra-placa.

O diagrama de elementos terras-raras normalizados pelo condrito (Fig. 7A) mostra similaridade nos padrões das amostras. O metagranitóide Capela São Francisco apresenta um padrão enriquecido com leve fracionamento de terras-raras leves (ETRL) em relação às pesadas (ETRP), com depleção de Ce na maioria das amostras, e forte depleção de Eu em todas elas.

Possui razão La_N/Sm_N variando de 4,0 a 6,39, Gd_N/Yb_N de 0,93 a 2,12, La_N/Yb_N de 3,93 a 18,93 e Eu/Eu^* variando de 0,26 a 0,44. É possível observar semelhanças entre os padrões de ETR e de elementos incompatíveis desta unidade com a média dos dados mundiais (34 amostras) do grupo de biotita granitos e

granitos a duas micas neorqueanos descritos por Laurent *et al.* (2014) (Figs. 7A e 7B).

Os conteúdos de elementos maiores, dados em % peso, mostram valores entre 66 e 74% de SiO_2 , 12 e 13% de Al_2O_3 , 2,61% e 7,10% de FeO_T , CaO menor que 3,1% e MgO menor que 1,0%. São ricos em potássio (K_2O em torno de 4%) e sódio (Na_2O entre 3,0% e 4,0%). Os dados da norma CIPW, mostram corindo normativo mínimo em apenas duas amostras e notável presença de diopsído e hiperstênio normativos. No diagrama normativo An-Ab-Or (Fig. 6A), as amostras ficam entre o campo do granito, granodiorito e trondhjemito. São rochas metaluminosas de acordo com o diagrama ACNK-ANK (Fig. 6B), com apenas uma amostra no campo das peraluminosas. De acordo com o diagrama MALI versus sílica (Fig. 6C), são maioritariamente calcioalcalinas. No diagrama tectônico Rb x Y+Nb (Fig. 6D) de Pearce (1996) são caracterizados como granitóides pós-colisionais.

O diagrama de elementos terras-raras normalizados ao condrito (Fig. 7C) mostra similaridade nos padrões das amostras. Há depleção de Eu em todas as amostras e também de Sr, Nb e Ta no diagrama de elementos incompatíveis normalizados ao manto primitivo (Fig. 7D). Possuem razão La_N/Sm_N variando de 3,05 a 6,68, Gd_N/Yb_N de 1,90 a 3,50, La_N/Yb_N de 8,21 a 34,74 e Eu/Eu^* variando de 0,29 a 0,70. É possível observar a semelhança entre os padrões de ETR e de elementos incompatíveis desta unidade com a média dos dados dos tipos sanukito e rochas híbridas (Fig. 7C e 7D) descritos por Laurent *et al.* (2014).

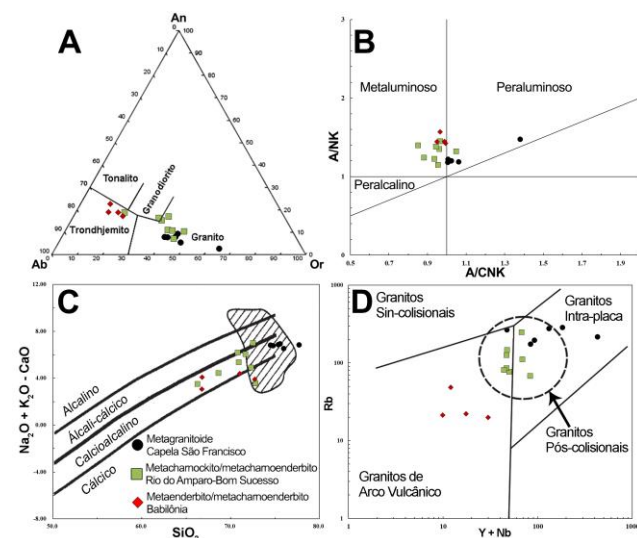


Figura 6. Diagramas classificatórios e discriminantes para as unidades metagraníticas. (A) An-Ab-Or normativo (Barker, 1979); (B) ACNK-ANK (Maniar & Piccoli, 1989); (C) MALI x Sílica, com o campo dos leucogranitos peraluminosos (Frost *et al.*, 2001); (D) Diagrama tectônico Rb x Y+Nb de Pearce (1996).

Figure 6. Classification and discriminant diagrams for metagranitic units. (A) QAP (Streckeisen, 1974); (B) An-Ab-Or normative (Barker, 1979); (C) ACNK-ANK (Maniar & Piccoli, 1989); (D) MALI x Silica, with peraluminous leucogranites filed from (Frost *et al.*, 2001); (E) Tectonic diagram Rb x Y+Nb from Pearce (1996).

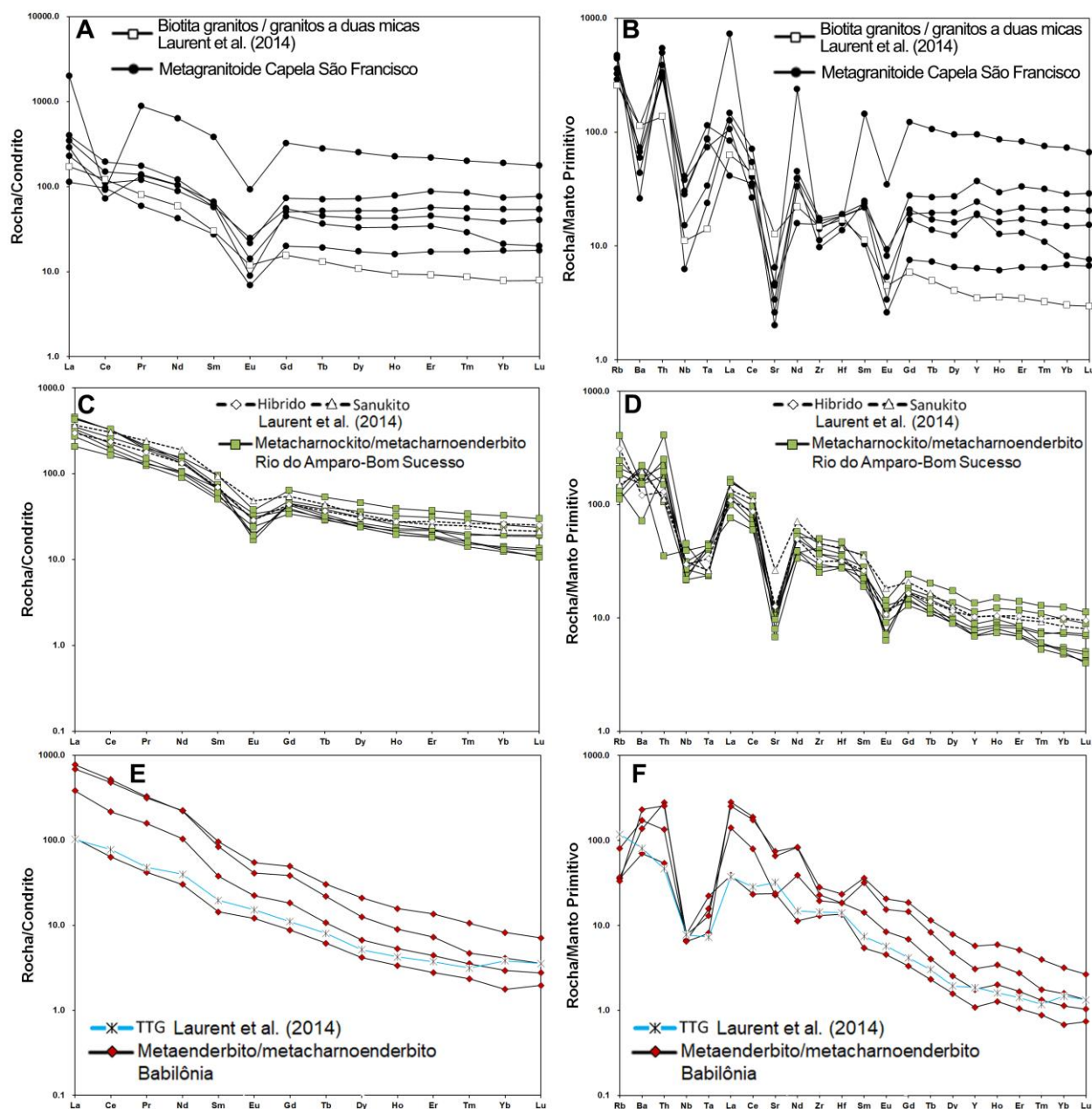


Figura 7. Comportamento dos elementos terras-raras, normalizado ao condrito segundo Sun & MacDonough (1989) em (A, C, E), e de elementos incompatíveis, normalizado ao Manto primitivo segundo MacDonough & Sun (1995) em (B, D, F), para as unidades metagraníticas. A média dos dados compilados de Laurent *et al.* (2014) é apresentada para comparação.

Figure 7. Rare-earth elements normalized to Chondrite (Sun & MacDonough, 1989) (A, C, E) and Incompatible elements normalized to Primitive Mantle (MacDonough & Sun, 1995) (B, D, F) for metagranitic units. Laurent *et al.* (2014) compiled data is presented for comparison.

Os conteúdos de elementos maiores para a unidade metaenderbitos/metacharnoenderbitos Babilônia, dados em % peso, mostram valores entre 66,77 e 72,77% de SiO₂, 14,14 e 15,60% de Al₂O₃, 1,50% e 3,50% de FeO_T, CaO menor que 3,50% e MgO menor que 1,30%. Não mostram enriquecimento em potássio (K₂O em torno de 2%) e possuem sódio elevado (Na₂O em torno de 5,0%). Do ponto de vista normativo destaca-se nenhuma ou mínima presença de diopsido normativo e elevada quantidade de hiperstena. No diagrama normativo An-Ab-Or (Fig. 6A) são classificados como trondjemito. São rochas de natureza metaluminosas de acordo com o diagrama ACNK-ANK (Fig. 6B), variando de cálcicas a calco-alcálicas, segundo o diagrama MALI *versus* sílica (Fig. 6C). No diagrama tectônico

Rb x Y + Nb (Fig. 6D) de Pearce (1996), são caracterizados como sendo de ambiente de arco vulcânico.

O diagrama de elementos terras-raras normalizados ao condrito (Fig. 7E) mostra similaridade nos padrões das amostras. O metaenderbitos/metacharnockito Babilônia apresenta forte fracionamento de ETR. Possui razão La_N/Yb_N de 83,82 a 188,03, La_N/Sm_N variando de 7,37 a 10,12, Gd_N/Yb_N de 4,99 a 9,32 e Eu/Eu* variando de 0,72 a 1,07. Já o diagrama de elementos incompatíveis (Fig. 7F) mostra depleção acentuada de Nb e Ta. É possível observar semelhanças entre os padrões de ETR e de elementos incompatíveis desta unidade com a média dos dados do tipo TTG, descritos por Laurent *et al.* (2014).

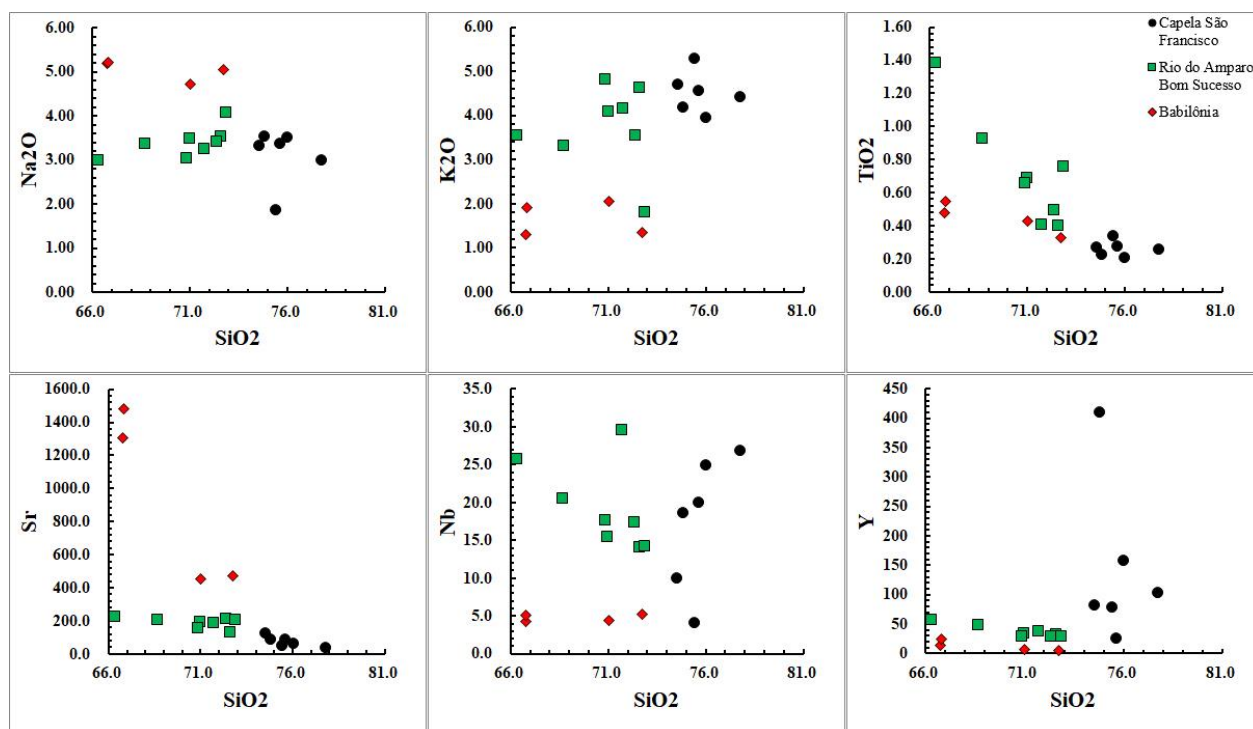


Figura 8. Diagramas de Harker para as rochas das unidades metagraníticas.

Figure 8. Harker diagrams for the rocks of metagranitic units.

Os diagramas de variação tipo Harker (Fig. 8) mostram ausência de correlação linear entre as unidades metagraníticas, indicando que estas rochas não têm relação genética.

Foram determinadas as composições químicas de onze amostras de rochas metanoríticas e metagabronoríticas e uma de rocha ultramáfica. Todas as amostras não mostram indícios petrográficos de alteração hidrotermal e intempérica. As amostras metamáficas apresentaram valores de perda ao fogo em geral inferior a 1%, enquanto que a amostra metaultramáfica atinge valor de 10% em função do elevado grau de serpentinização.

A disposição das amostras no diagrama classificatório TAS (Le Bas *et al.*, 1986) indica o caráter subalcalino e saturado em sílica, onde as rochas máficas se posicionam no campo dos basaltos e basaltos andesíticos e a rocha metaultramáfica no campo dos picritos (Fig. 9A).

Do ponto de vista normativo, é possível destacar a elevada presença de olivina normativa na amostra de rocha metaultramáfica. Os noritos e gabronoritos variam de quartzo-toleitos a olivina-toleitos normativos.

A disposição das amostras no diagrama de Jensen (1976) classifica as rochas metanoríticas/metagabronoríticas máficas como komatiito basáltico a toleítico de alto-Fe e a ultramáfica como komatiito picrítico (Fig. 9B). As rochas máficas e ultramáficas mostram caráter toleítico, posicionando-se acima do limite do campo que divide as rochas toleíticas e calco-alcalinas de Kuno (1968) no diagrama de Irvine e Baragar (1971) (Fig. 9C). No diagrama ternário de Wood (1980) (Fig. 9D), as amostras máficas são projetadas no campo de basaltos calco-alcalinos de arco vulcânico.

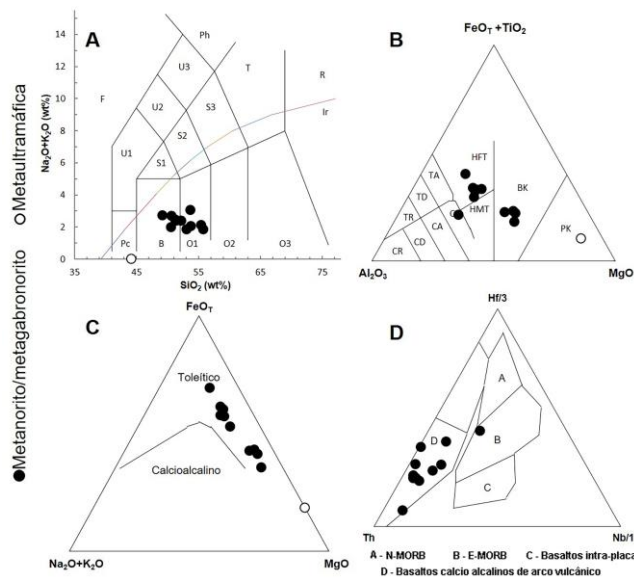


Figura 9 Diagramas classificatórios e discriminantes para as amostras das rochas ultramáficas e máficas. (A) Álcalis total versus sílica (TAS – Le Bas *et al.*, 1986). Pc = picritos, B = basaltos, O1 = basaltos andesíticos; (B) $FeO+TiO_2-Al_2O_3-MgO$ de Jensen (1986). PK = komatiito picrítico, BK = komatiito basáltico, HFT = toleito de alto Fe; (C) Irvine e Baragar (1971). (D) $Hf/3-Th-Nb/16$ de Wood (1980).

Figure 9. Classification and discriminant diagrams for ultramafic and mafic units. (A) Total alkali versus silica (TAS – Le Bas *et al.*, 1986). Pc = picrites, B = basalts, O1 = andesitic basalts; (B) $FeO+TiO_2-Al_2O_3-MgO$ from Jensen (1986). PK = picritic komatiites, BK = basaltic komatiites, HFT = high Fe tholeiites; (C) Irvine & Baragar (1971). (D) $Hf/3-Th-Nb/16$ from Wood (1980).

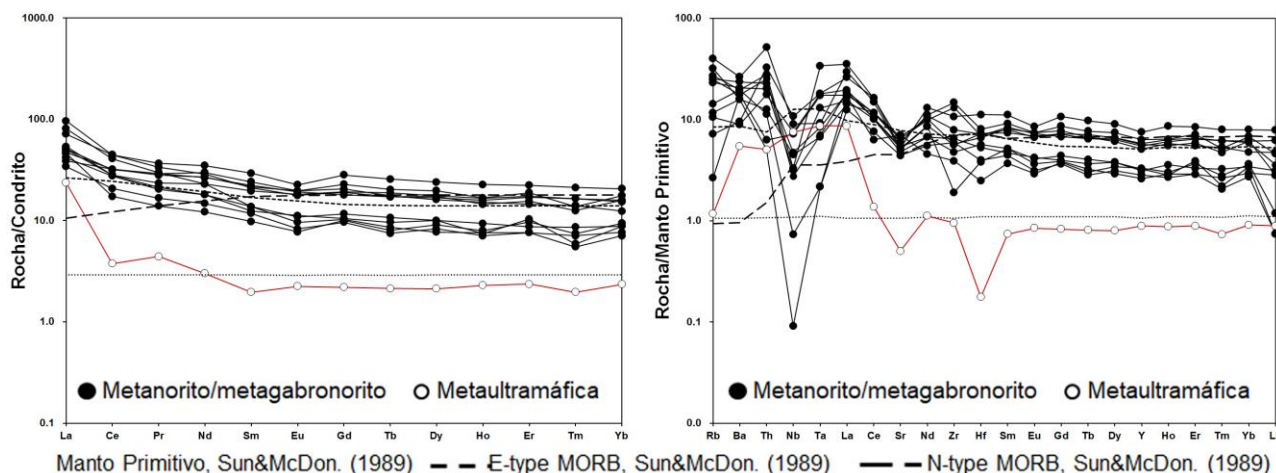


Figura 10. Padrões dos elementos terras raras normalizados pelo condrito (A) - normalização segundo Sun & MacDonough (1989) e padrões dos elementos incompatíveis; (B) normalizados ao manto primitivo - normalização segundo MacDonough & Sun (1995) para os as unidades máfica e metaultramáfica.
 Figure 10. (A) Rare-earth elements normalized to Chondrite (Sun & MacDonough, 1989); (B) Incompatible elements normalized to Primitive Mantle (MacDonough & Sun, 1995).

As rochas máficas possuem razão La_N/Sm_N a variar de 1,61 a 5,90 (12,05 na ultramáfica), Gd_N/Yb_N de 1,07 a 1,66 (0,93 na ultramáfica), La_N/Yb_N de 2,20 a 10,59 (10,04 na ultramáfica) e Eu/Eu^* variando de 0,78 a 0,98 (1,08 na ultramáfica). No diagrama de elementos incompatíveis (Fig. 10B) é possível observar anomalias negativas de Sr e Hf nas metaultramáficas e máficas. Há anomalias negativas de Nb nos metanoritos/metagabronoritos.

5. Discussão e conclusão

A tabela 1 mostra uma compilação das idades das unidades estudadas. O gnaiss biotítico-moscovítico, de idade relacionada aos gnaisses do CMCB, parece ter sido trazido à superfície por uma falha (lasca tectónica) conforme descrito por Quéméneur *et al.* (2003) na região da Serra de Bom Sucesso.

O metagranitóide Capela São Francisco é relacionado com os granitóides ricos em K de origem crustal, amplamente encontrados na porção sul do Cratão São Francisco com idade em torno de 2750 Ma, segundo Romano *et al.* (2013). Quimicamente assemelha-se ao grupo de biotite granitos de Laurent *et al.* (2014) mostrado nas figuras 7A, B e 12A. Possui depleção de Ce na maioria das amostras, provavelmente devida à elevada fugacidade de O_2 no magma original, que teria oxidado o Ce^{3+} para Ce^{4+} , este último tendo deixado o magma. Já a forte anomalia negativa de Eu em todas as amostras, pode ser explicada pela não fusão da plagioclase cálcica da rocha fonte (possivelmente a fonte seria o gnaiss biotítico-muscovítico anteriormente descrito) durante a anatexia que gerou o metagranitóide, tendo as anomalias negativas de Ba e Sr interpretação semelhante.

Tabela 1. Relação de idades dos litotipos estudados segundo a respectiva bibliografia.

Table 1. Age list of the studied lithotypes according to their bibliography.

Rochas	Idade (Ma)	Obs.	Método	Autor
Biotita-Muscovita Gnaiss	3205 ± 17	Idade reliquiar	U-Pb em zircão (SHRIMP)	Teixeira <i>et al.</i> (1998)
	3047 ± 25	Evento magmático principal	U-Pb em zircão (SHRIMP)	Teixeira <i>et al.</i> (1998)
	2839 ± 17	Migmatização	U-Pb em zircão (SHRIMP)	Teixeira <i>et al.</i> (1998)
Metaultramáficas e metamáficas	2755 ± 62	Idade Isocrônica	Sm-Nd	Carneiro <i>et al.</i> (2007)
	3035	Idade Modelo	Sm-Nd TDM	Paciullo <i>et al.</i> (2007)
	2658 ± 44	Gabro-noritos - Idade de cristalização	Sm-Nd	Pinese (1997)
Metaenderbitos, metacharnoenderbitos e metacharnockitos	2657 ± 36	Metamorfismo	U-Th-Pb em Monazita	Miranda & Chaves (2016)
	2730	Babilônia - Idade de cristalização	Pb-Pb (evaporação de zircão)	Quéméneur <i>et al.</i> (2003)
	2708	Bom Sucesso - Idade de cristalização	Isócrona Rb-Sr	Quéméneur <i>et al.</i> (2003)
	2705 ± 20	Rio do Amparo - Idade de cristalização	U-Pb em zircão	Paciullo <i>et al.</i> (2007)
	2720 - 2690	Rio do Amparo-Bom /Sucesso - Idade de cristalização	U-Pb em zircão (LA-SF-ICP-MS)	Moreno <i>et al.</i> (2017)
Metagranitoides	2750	Capela São Francisco - Idade de cristalização	U-Pb em zircão	Moreno <i>et al.</i> (2017)

As anomalias negativas de Nb e Ta destes granitos possivelmente relacionam-se com processos de anatexia de material crustal portador destas anomalias, típicas de ambiente de arco magmático (conforme abordagem de Pearce, 2014). É peraluminoso e possui elevado teor de SiO₂ e K₂O, baixo Ca, com padrões de ETR e elementos incompatíveis semelhante ao deste grupo descrito por Laurent *et al.* (2014). No contacto entre o metagranitóide Capela São Francisco com as rochas ultramáficas foram observados pequenos nódulos de muscovitae, que correspondem a possíveis pseudomorfos de andaluzite (Fig. 11). Isto sugere que o metagranitóide Capela São Francisco de facto já existia quando ocorreu a intrusão ultramáfica, levando ao crescimento dos nódulos no metagranitóide por metamorfismo de contacto.



Figura 11. Contacto entre metagranitóide Capela São Francisco e metaultramáfica. (A) Ocorrência de nódulos de muscovita (possíveis pseudomorfos de andaluzita) no contacto entre o metagranitóide Capela São Francisco e a metaultramáfica. O círculo mostra um nódulo; (B) Detalhe de um nódulo de hábito prismático.

Figure 11. Interaction between Capela São Francisco metagranitoid and metaultramafic. (A) Occurrence of muscovite nodules (possible andalusite pseudomorphs) in the interface between Capela São Francisco metagranitoid and metaultramafic. The circle shows a nodule; (B) Detail of a prismatic habit nodule.

O tratamento petrográfico e litoquímico, descrito no item 4.1.3, permitiu o agrupamento do Granitóide de Bom Sucesso descrito por Quéméneur *et al.* (2003), com o seu semelhante, o Granitóide Rio do Amparo, definido nas adjacências da região estudada (Carneiro *et al.*, 2007; Paciullo *et al.*, 2007). O metacharnockito/metacharnoenderbitio Rio do Amparo-Bom Sucesso, de idade entre 2720 Ma e 2690 Ma (Moreno *et al.*, 2017), possui características químicas semelhante aos grupos dos sanukitos e dos granitóides híbridos de Laurent *et al.* (2014). (Figs. 12A): são metaluminosos e calco-alcinos. Os padrões de ETR e elementos incompatíveis se assemelham aos padrões destes grupos conforme mostram as figuras 7C, D. Possuem anomalias negativas de Eu e Sr, interpretadas da mesma forma como nos granitóides Capela São Francisco. Anomalias negativas de Nb e Ta podem ter sido geradas devido a prováveis processos de mistura com material de ambiente de arco magmático

imediatamente anterior à fase pós-colisional (conforme abordagem de Pearce, 2014). Uma leve anomalia negativa de Y é atribuída à retenção ou inexistência de granada na (s) fonte (s). As altas concentrações de elementos provenientes da crosta e do manto são uma característica típica dos sanukitos e dos granitóides híbridos, mostrando que sua origem provém da interação de diferentes fontes (mantélica e crustal) em crosta inferior (Fig. 12B).

Os metaenderbitos/metacharnoenderbitos Babilônia (2730 Ma) são metaluminosos, com alto Na, têm características químicas semelhante ao grupo dos TTG de Laurent *et al.* (2014) (Fig. 12A) e variam de cálcicos a calco-alcinos. Possuem típico padrão fracionado de ETR, sem anomalias de Eu (Figs. 7E, 7F). A sua origem está vinculada à fusão parcial de fontes máficas pobres em K (Fig. 12B). A textura tipo *bleb* está provavelmente relacionada com o permanecimento durante muito tempo sobre a atuação de condições de fácies granulito (Mackenzie *et al.*, 1982), sob as quais aparecem pequenas bolhas no interior da plagioclase. A presença de ortopiroxena de substituição para anfíbola nas unidades Rio do Amparo-Bom Sucesso e Babilônia, sugere que a cristalização/recristalização destas rochas ocorreu sob fácies granulítica, com retrometamorfismo em fácies anfibolítica, datado em 2660 Ma (Miranda e Chaves, 2016).

O alinhamento das amostras nos diagramas da figura 9 sugere que os metanoritos/metagabronoritos máficos sejam o produto da diferenciação magmática das metaultramáficas promovida pelos processos ígneos geradores da textura cumulática nestas últimas. Esta sugestão é corroborada pelas semelhanças dos padrões de ETR e elementos incompatíveis da figura 10 e pela mesma disposição espacial na área de estudo das unidades metaultramáfica e máfica. A anomalia de Eu destas últimas rochas pode ser explicada por uma possível elevada fugacidade de O₂ que promove a oxidação de Eu²⁺ para Eu³⁺ no magma máfico, sendo que este último escapa do magma, deixando nele a assinatura negativa de Eu. As anomalias negativas de Nb destas rochas são típicas de basaltos cálcio-alcinos de arco magmático e também indicam a presença de fluidos relacionados a anatexia e contaminação crustal.

Segundo Albert *et al.* (2016), a evolução Neoarqueana que vai de 2,90 Ga a 2,65 Ga no sul do Cratão São Francisco (Fig. 13) corresponde a dois estágios. O primeiro coincide com os eventos Rio das Velhas I (RVI) e Rio das Velhas II (RVII), explicados por um modelo de colisão continental, durante o qual a acreção de vários proto-continentes entre 2,90 Ga e 2,75 Ga levou a formação de crosta tectonicamente espessada com retrabalhamento progressivo (Farina *et al.*, 2016; Lana *et al.*, 2013).

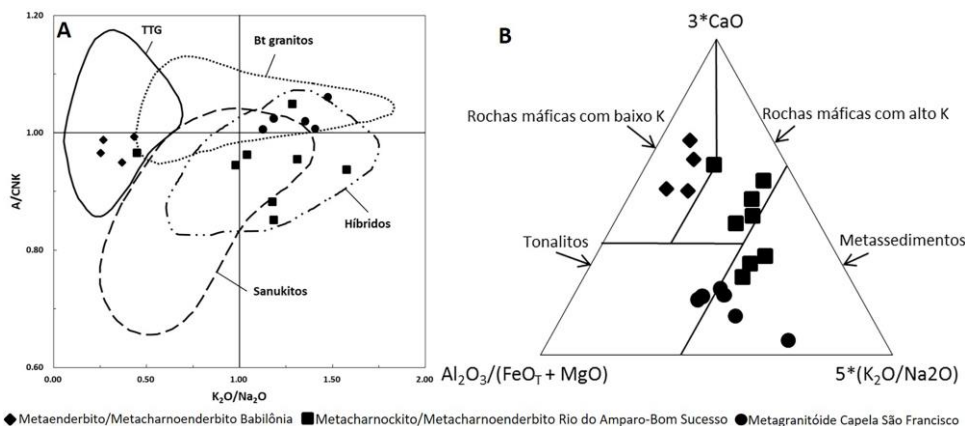


Figura 12. (A) Diagrama K₂O/Na₂O x A/CNK. Os campos delimitados representam a compilação de dados de rochas granitóides neoarqueanas de diversos cratões do mundo; (B) Diagrama ternário Al₂O₃/(FeO_T + MgO); 3*CaO; 5*(K₂O/Na₂O), onde os campos separados por linhas retas representam a composição de fundidos derivados de fontes potenciais (diagramas modificados de Laurent *et al.*, 2014).

Figure 12. (A) K₂O/Na₂O x A/CNK diagram. Delimited fields represents compiled data for Neoproterozoic granitoids from various Cratons of the world; (B) Al₂O₃/(FeO_T + MgO); 3*CaO; 5*(K₂O/Na₂O) ternary diagram, where fields separated by straight lines represent the composition of melts derived from potential sources (modified from Laurent *et al.*, 2014).

◆ Metaenderbitio/Metacharnoenderbitio Babilônia ■ Metacharnockito/Metacharnoenderbitio Rio do Amparo-Bom Sucesso ● Metagranitóide Capela São Francisco

O segundo estágio corresponde ao evento Mamona marca uma mudança do regime tectônico para um regime extensional, onde o colapso gravitacional tardi- a pós- orogénico desencadeou a fusão de litologias da crosta inferior e do manto superior, devido à ascensão da astenosfera.

Albert *et al.* (2016) sugerem que o magmatismo produzido durante este evento gera três tipos de granitóides. Primeiro, através da refusão local de gnaisses mais antigos (RVI e RVII). Segundo, pelo retrabalhamento de metassedimentos em profundidade, produzindo grandes volumes de granitóides biotíticos e granitóides de duas micas, e finalmente a refusão de uma fonte metabasáltica, gerando magmas que mais tarde assimilam uma crosta mais antiga.

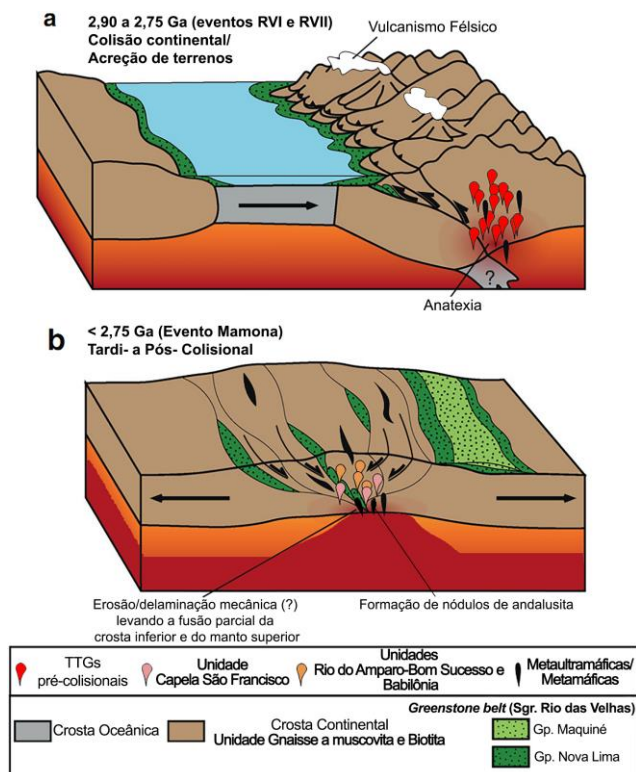


Figura 13. Esboço ilustrando a evolução Arqueana da crosta continental exposta no Sul do Cratão São Francisco. (a) 2,9 Ga, acreção de vários proto-continents progressivamente leva a espessamento crustal e posterior retrabalhamento (RVI e RVII); (b) evento Mamona tardi- a pós- Colisional (<2,75 Ga), a ascensão da astenosfera desencadeia fusão parcial das litologias do manto superior e da crosta inferior (modificado de Albert *et al.* 2016).

Figure 11. Sketch illustrating Archean evolution of continental crust exposed in southern São Francisco Craton. (a) 2.9 Ga, accretion of several proto-continents progressively leads to crustal thickening and subsequent reworking (RVI e RVII); (b) Mamona event late- to post- Collisional (<2.75 Ga), ascension of the asthenosphere triggers partial fusion of upper mantle and lower crust lithologies (modified from Albert *et al.* 2016).

É possível enquadrar as rochas da área de estudo no modelo evolutivo para granitóides relacionados ao evento extensional Mamona (Fig. 13) proposto por Albert *et al.* (2016), dentro do qual as rochas da área estudada no entorno da Serra da Babilônia (Bom Sucesso-MG) cronologicamente se encaixam. Estariam compreendidas as seis unidades geológicas aqui descritas, a saber: (I) o gnaiss a muscovita e biotita de idade incerta, de cuja fusão parcial (anatexia) sugere-se que teria sido originado o (II) metagranitóide pós-colisional/intra-placa Capela São Francisco, datado em 2,75 Ga; os metacharnockitos e metacharnoenderbitos Rio do Amparo-Bom Sucesso (III) corresponderiam a tipos pós-colisionais híbridos datados entre 2,72 Ga e 2,69 Ga; os metaenderbitos e metacharnoenderbitos Babilônia (IV) com

idade por volta de 2,73 Ga seriam produto de fusão parcial de fontes máficas pobres em K; as metaultramáficas (V) como produto de fusão parcial do manto litosférico metassomatizado (enriquecido em ETR leves) se diferenciariam para os metanoritos e metagabronoritos (VI) de cerca de 2,7 Ga. Estes processos e produtos geológicos neoarqueanos teriam ocorrido em crosta inferior, em condições de fácies granulítica, próximo ao limite crosta-manto equivalente à região entre as descontinuidades de Conrad e Mohorovicic.

Agradecimentos

Ao CNPq, pela bolsa de estudos concedida aos autores. Ao Instituto de Geociências da UFMG que disponibilizou os laboratórios do CPMTc para apoiar esta pesquisa.

Referências

- Albert, C., Farina, F., Lana, C., Stevens, G., Storey, C., Gerdes, A., Dopico, C. M., 2016. Archean crustal evolution in the Southern São Francisco craton, Brazil: Constraints from U-Pb, Lu-Hf and O isotope analyses. *Lithos*, **266-267**: 64-86.
- Almeida, J. A. C., Dall'agnol, R., Oliveira, M. A., Macambira, M. J. B., Pimentel, M. M., Rämö, O. T., Guimarães, F. V., Leite, A. A. S., 2011. Zircon geochronology, geochemistry and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: implications for the growth of the Archean crust of the Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, **187**: 201-221.
- Almeida, J. A. C., Dall'agnol, R., Leite, A. A. S., 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **42**: 103-126.
- Barker, F., 1979. Trondhjemites: definitions, environment and hypotheses of origin. In: F. Barker (Ed.) *Trondhjemites, dacites and related rocks*. Elsevier, 1-12.
- Campos, J. C. S., Carneiro, M. A., Basei, M. A. S., 2003. U-Pb evidence for Late Neoproterozoic crustal reworking in the southern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **75**(4): 497-511.
- Carneiro, M. A., 1992. *O Complexo Metamórfico Bonfim Setentrional (Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais): Litoestratigrafia e evolução geológica de um segmento de crosta continental do Arqueano*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica e Geotectônica, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 233.
- Carneiro, M. A., Nalini Jr., H. A., Endo, I., Suita, M. T. F., Castro, P. T. A., Barbosa, M. S. C., Campos, J. C. S., Goulart, L. E. A., Silva, E. F., Ferreira, A. A., Tavares, T. D., Jiamelaro, F., Carneiro, J. M., Mariano, L. C., Miguel, F. P., Silva Jr., A. C., Barbosa, A. S., Prado, G. E. A., Santos, C., Urbano, E. E. M. C., 2007. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Folhas Campo Belo (SF.23-V-B-VI) e Oliveira (SF.23-X-A-IV), escala 1:100 000*, Ouro Preto, CPRM, 192.
- Carneiro, M. A., Barbosa, M. S. C., 2008. Implicações geológicas e tectônicas da interpretação magnetométrica da região de Oliveira, Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geofísica*, **26**(1): 87-98.
- Chaves, A. O., 2013. Enxames de diques máficos de Minas Gerais – o estado da arte. *Geonomos*, **21**(1): 29-33.
- Dey, S., Nandy, J., Choudhary, A. K., Liu, Y., Zong, K., 2014. Origin and evolution of granitoids associated with the Kadiri greenstone belt, eastern Dharwar craton: a history of orogenic to anorogenic magmatism. *Precambrian Research*, **246**: 64-90.
- Engler, A., Koller, F., Meisel, T., Quémeñeur, J. J. G., 2002. Evolution of the archean/proterozoic crust in the southern São Francisco craton near Perdões, Minas Gerais, Brazil: petrological and geochemical constraints. *Journal of South American Earth Sciences*, **15**: 709-723.
- Farina, F., Albert, C., Dopico, C. M., Gil, C. A., Moreira, H., Hippert, J. P., Cutts, K., Alkmim, F. F., Lana, C., 2016. *The Archean-Paleoproterozoic evolution of the Quadrilátero Ferrífero (Brasil): current models and open questions*, **68**: 4-21.
- Fernandes, R. A., Carneiro, M. A., 2000. O Complexo Metamórfico Campo Belo (Cratão São Francisco Meridional): unidades litodêmicas

- e evolução tectônica. *Revista Brasileira de Geociências*, **30**(4): 671-678.
- 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. *J. Petrology*, **42**: 2033-2048.
- Jordt-Evangelista, H., 1996. Igneous charnockites in the southeastern transition zone between the São Francisco Craton and the costeiro mobile belt, Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, **26**(2): 93-102.
- Lana, C., Alkmim, F. F., Armstrong, R., Scholz, R., Romano, R., Nalini Jr., H. R., 2013. The ancestry and magmatic evolution of Archaean TTG rocks of the Quadrilátero Ferrífero province, Southeast Brazil. *Precambrian Research*, **231**: 157-173.
- Lasa Engenharia e Prospecções S.A., 2001. *Relatório final do levantamento e processamento dos dados magnetométricos e gamaespectrométricos. Levantamento Aerogeofísico de Minas Gerais, Área 2. Projeto Pitangui – São João Del Rey – Ipatinga*. Secretaria de Estado de Minas e Energia - SEME - Governo de Minas Gerais, 81.
- Laurent, O., Martin, H., Moyen, J. F., Doucelance, R., 2014. The diversity and evolution of late-Archaean granitoids: Evidence for the onset of “modern-style” plate tectonics between 3.0 and 2.5 Ga. *Lithos*, **205**: 208-235.
- Machado Filho, L., Ribeiro, M. W., Gonzales, S. R., Schenini, C. A., Santos Neto, A., Palmeira R. C. B., Pires, J. L., Teixeira, W., Castro, H. E. F., 1983. *Geologia das Folhas SF-23/24, Rio de Janeiro/Vitória*. Projeto RADAMBRASIL, 27-304.
- Machado, N., Schrank, A., Noce, C. M., Gauthier, G., 1996. Ages of detrital zircon from Archean-Paleoproterozoic sequences: implications for greenstone belt setting and evolution of a Transamazonian foreland basin in Quadrilátero Ferrífero, southeast Brazil. *Earth and Planetary Science Letters*, **141**: 259-276.
- Mackenzie, W. S., Donaldson, C. H., Guildford, C., 1982. *Atlas of igneous rocks and their textures*. London, Longford, 148.
- Maniar, P. D., Piccoli, P. M., 1989. Tectonic discriminations of granitoids. *Geological Society of America Bulletin*, **101**: 635-643.
- Marshall, B., Schönwandt, H. K., 1999. An Archaean sill complex and associated supracrustal rocks, Arveprinsen Ejlund, north-east Disko Bugt, West Greenland. *Geology of Greenland Survey Bulletin*, **181**: 87-102.
- MacDonough, W. F., Sun, S. S., 1995. The composition of the Earth. *Chemical Geology*, **120**(3-4): 223-253.
- Miranda, D. A., Chaves, A. O., 2016. Idade U-Th-Pb da Monazita e Coroas de Reação Fosfato-Silicato de um Metacharnoeendrito Neoarqueano do sul do Cráton São Francisco (MG). *Geonomos*, **24**(1): 1-10.
- Moreno, J. A., Baldim, M. R., Semprich, J., Oliveira, E. P., Verma, S. K., Teixeira, W., 2017. Geochronological and geochemical evidences for extension-related Neoproterozoic granitoids in the Southern São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research*, **294**: 322-343.
- Noce, C. M., 1995. *Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos na região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 128.
- Noce, C. M., Machado, N., Teixeira, W., 1998. U-Pb Geochronology of gneisses and granitoids in the Quadrilátero Ferrífero (Southern São Francisco Craton): age constraints for Archean and Paleoproterozoic magmatism and metamorphism. *Revista Brasileira de Geociências*, **28**: 95-102.
- Paciullo, F. V. P., Ribeiro, A., Cherman, A., Chrispim, S., Maciel, R. R., 2007. *Mapa geológico da Folha Nepomuceno (SF.23-V-D-III) Escala 1:100 000. Nota Explicativa*. Programa Geologia do Brasil: Mapas Geológicos, Rio de Janeiro, 92.
- Pearce, J. A., 1996. Sources and setting of granitic rocks. *Episodes*, **19**(4): 120-125.
- Pearce, J. A., 2014. Geochemical Fingerprinting of the Earth's Oldest Rocks. *Geology*, **42**(2): 175-176.
- Percival, J. A., Sanborn-Barrie, M., Skulski, T., Stott, G. M., Helmstaedt, H., White, D. J., 2006. Tectonic evolution of the western Superior Province from NATMAP and lithoprobe studies. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **43**: 1085-1117.
- Pinese, J. P. P., 1997. *Geoquímica, Geologia Isotópica e Aspectos Petroológicos dos Diques Máficos Pré-Cambrianos da Região de Lavras (MG), Porção Sul do Cráton do São Francisco*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 178.
- Quémeur, J. J. G., Ribeiro, A., Trouw, R. A. J., Paciullo, F. V. P., Heilbron, M., 2003. Geologia da Folha Lavras. In: Companhia Mineradora de Minas Gerais. Geologia e Recursos Minerais do Sudeste Mineiro. *Projeto Sul de Minas – Etapa I. Relatório final*. Belo Horizonte, COMIG/UFGM/UFRJ/UERJ, **1**: 259-319. CD-ROM.
- Romano, R., Lana, C., Alkmim, F. F., Stevens, G., Armstrong, R., 2013. Stabilization of the southern portion of the São Francisco Craton, SE Brazil, through a long-lived period of potassic magmatism. *Precambrian Research*, **224**: 143-159.
- Smithies, R. H., van Kranendonk, M. J., Champion, D. C., 2007. The Mesoproterozoic emergence of modern-style subduction. *Gondwana Research*, **11**(1-2): 50-68.
- Streckeisen, A. L., 1974. Classification and Nomenclature of Plutonic Rocks. Recommendations of the IUGS Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. *Geologische Rundschau. Internationale Zeitschrift für Geologie*, Stuttgart, **63**: 773-85.
- Sun, S. S., McDonough, W. F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts, implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J., (Eds.). *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society of London, London, **42**: 313-345.
- Teixeira, W., Carneiro, M. A., Noce, C. M., Machado, N., Sato, K., Taylor, P. N., 1996. Pb, Sr and Nd isotope constraints on the Archean evolution of gneiss-granitoid complexes in the southern São Francisco Craton, Brazil. *Precambrian Research*, **78**: 151-164.
- Teixeira, W., Cordani, U. G., Nutman, A. P., Sato, K., 1998. Polyphase Archean evolution in the Campo Belo metamorphic complex, Southern São Francisco Craton, Brazil, SHRIMP U-Pb zircon evidence. *Journal of South American Earth Sciences*, **11**: 279-289.
- Teixeira, W., Sabaté, P., Barbosa, J., Noce, C. M., Carneiro, M. A., 2000. Archean and Paleoproterozoic tectonic evolution of the São Francisco Craton, Brazil. In: Cordani, U. G., Milani, E. J., Thomaz-Filho, A., Campos, D. A., (Eds.). *Tectonic evolution of South America*. 31^o International Geological Congress. Rio de Janeiro, 101-137.
- Van Kranendonk, M. J., Smithies, R. H., Hickman, A. H., Champion, D. C., 2007. Review: secular tectonic evolution of Archean continental crust: interplay between horizontal and vertical processes in the formation of the Pilbara Craton, Australia. *Terra Nova*, **19**(1): 1-38.
- Windley, B. F., 1995. *The Evolving Continents*, 3rd ed. Chester, John Wiley, 526.
- Wood, D. A., 1980. The application of a Th-Hf-Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British tertiary volcanic province. *Earth and Planetary Science Letters*, **50**: 11-30.
- Zhou, J., Li, X., 2006. GeoPlot: an excel VBA program for geochemical data plotting. *Computers & Geosciences*, **32**: 554-560.

Anexo I. Tabela de composição química das unidades estudadas.

	Metagranitoide Capela São Francisco						Metacharnockito/Metacharnoenderbita Rio do Amparo-Bom Sucesso							
	CSF1	CSF2	CSF3	CSF4	CSF5	CSF6	RABS1	RABS2	RABS3	RABS4	RABS5	RABS6	RABS7	RABS8
Elementos Maiores														
SiO ₂	76,00	74,81	77,75	75,60	75,39	74,52	70,96	72,57	72,34	70,84	68,66	66,30	72,86	71,70
TiO ₂	0,21	0,23	0,26	0,28	0,34	0,27	0,69	0,40	0,50	0,66	0,93	1,39	0,76	0,41
Al ₂ O ₃	11,89	12,42	11,55	12,56	13,03	12,89	12,62	12,44	12,78	12,52	12,62	12,23	12,59	12,98
FeO _T	1,51	1,38	1,74	1,76	2,04	1,61	4,18	2,61	3,28	3,09	5,05	7,10	4,52	2,93
MgO	0,22	0,23	0,26	0,30	0,25	0,32	0,46	0,21	0,33	0,64	0,83	0,95	0,64	0,55
MnO	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,05	0,06	0,01	0,02
CaO	0,96	0,97	0,62	1,01	0,33	1,22	2,26	1,20	2,09	1,71	2,30	3,07	2,38	1,38
K ₂ O	3,96	4,19	4,44	4,56	5,31	4,70	4,11	4,64	3,56	4,82	3,32	3,55	1,83	4,17
Na ₂ O	3,52	3,54	3,01	3,37	1,88	3,34	3,49	3,54	3,42	3,06	3,39	3,00	4,09	3,25
P ₂ O ₅	0,04	0,04	0,03	0,05	0,06	0,06	0,16	0,06	0,12	0,15	0,26	0,47	0,21	0,10
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
PF	0,47	0,59	0,63	0,66	2,04	0,47	0,34	0,50	0,56	0,54	0,63	0,16	0,88	0,66
Total	98,82	98,42	100,32	100,18	100,68	99,42	99,31	98,20	99,01	98,04	98,05	98,28	100,79	98,16
Mg#	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Norma CIPW														
Q	37,61	35,66	40,47	34,97	42,34	33,39	27,90	30,59	32,43	29,32	28,03	24,71	33,42	31,99
C	0,17	0,40	0,74	0,37	3,79	0,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,87
Or	23,80	25,31	26,32	27,08	31,81	28,07	24,54	28,07	21,37	29,22	20,14	21,38	10,83	25,28
Ab	30,29	30,62	25,55	28,66	16,13	28,57	29,84	30,67	29,40	26,55	29,45	25,87	34,65	28,21
An	4,57	4,65	2,89	4,71	1,26	5,72	6,70	4,45	9,15	6,35	9,67	9,60	10,45	6,35
Di(FS)	-	-	-	-	-	-	2,59	0,95	0,44	0,83	0,20	1,94	0,00	0,00
Di(MS)	-	-	-	-	-	-	0,52	0,14	0,08	0,33	0,06	0,48	0,00	0,00
Hy(MS)	0,56	0,59	0,65	0,75	0,63	0,81	0,92	0,47	0,80	1,48	2,09	2,19	1,60	1,41
Hy(FS)	2,50	2,22	2,81	2,82	3,25	2,56	5,28	3,74	5,10	4,28	7,93	10,03	7,07	4,86
Oi(MS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Oi(FS)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Il	0,41	0,45	0,50	0,53	0,66	0,52	1,32	0,78	0,97	1,29	1,81	2,69	1,45	0,80
Ap	0,10	0,10	0,07	0,12	0,14	0,14	0,38	0,14	0,28	0,36	0,62	1,11	0,49	0,24
Elementos Traço														
Rb	283,2	216,2	275,8	265,3	173,5	195,3	76,1	125,0	85,0	146,2	110,5	67,3	80,	245,00
Ba	289,0	394,0	172,0	444,0	482,0	750,0	1417,	1133,0	1450,0	996,0	995,0	1191,0	473,0	1006,0
Sr	67,0	93,0	40,0	89,0	52,0	129,0	199,0	135,0	218,0	159,0	212,0	229,0	209,0	192,0
Zr	102,0	118,0	148,0	162,0	174,0	183,0	439,0	294,0	385,0	385,0	313,0	475,0	525,0	264,0
Nb	25,0	18,7	27,0	20,0	4,1	10,0	15,5	14,2	17,5	17,7	20,5	25,8	14,3	29,7
Y	158,8	410,1	104,8	27,3	80,1	82,7	34,6	33,0	29,7	30,0	48,6	58,0	29,8	38,2
Ni	12,0	11,0	12,0	13,0	15,0	8,0	14,0	12,0	20,0	17,0	17,0	10,0	14,0	16,0
Co	132,1	112,4	139,1	137,1	128,6	160,3	92,7	98,5	114,8	69,5	88,2	58,3	99,6	103,8
Hf	3,87	4,46	5,14	5,19	5,17	5,40	10,30	8,00	8,95	9,78	7,79	11,50	13,19	7,81
Ta	2,72	3,23	4,23	3,20	0,88	1,25	1,47	1,66	1,54	0,87	1,52	1,61	0,88	0,91
Th	26,50	23,50	39,60	24,70	43,30	30,80	8,40	17,50	11,90	19,90	14,30	2,80	15,40	32,50
U	11,33	7,49	12,18	14,20	5,22	5,76	0,59	7,55	1,00	1,38	2,45	1,55	1,43	2,31
Elementos Terras Raras														
La	69,00	475,60	54,50	26,80	82,30	95,00	73,90	64,40	103,50	107,20	49,20	82,50	101,70	78,20
Ce	44,40	56,30	67,70	59,10	91,50	119,50	122,10	111,70	199,20	198,60	100,10	162,80	200,90	137,50
Pr	12,80	84,19	11,42	5,65	13,19	16,73	12,68	11,74	18,25	20,26	12,41	18,67	19,20	14,22
Nd	48,60	297,60	41,40	19,70	49,00	56,70	46,70	41,90	62,60	68,80	49,00	72,10	64,90	48,70
Sm	10,10	58,90	8,80	4,20	8,90	9,60	8,20	7,70	10,00	11,40	10,40	14,60	10,30	9,10
Eu	1,26	5,36	0,52	0,40	1,44	0,82	1,81	1,40	1,97	0,98	1,66	2,20	1,13	1,10
Gd	15,01	66,70	10,39	4,10	11,36	9,23	7,72	7,01	8,08	9,24	9,86	13,17	8,88	9,29
Tb	2,66	10,54	1,93	0,72	1,69	1,37	1,14	1,08	1,10	1,27	1,53	2,00	1,19	1,44
Dy	18,38	64,11	13,22	4,39	10,83	8,37	6,69	6,19	6,04	6,43	9,16	11,67	6,04	7,90
Ho	4,42	12,81	2,95	0,91	2,42	1,89	1,30	1,23	1,10	1,19	1,82	2,22	1,10	1,44
Er	14,53	36,14	9,40	2,84	7,46	5,70	3,71	3,57	3,04	3,14	5,14	6,14	3,00	3,74
Tm	2,15	5,12	1,41	0,44	1,08	0,74	0,51	0,49	0,39	0,41	0,74	0,87	0,36	0,41
Yb	12,60	32,20	9,20	3,00	6,60	3,60	3,20	3,30	2,40	2,30	4,30	5,50	2,10	2,20
Lu	1,95	4,48	1,37	0,45	1,03	0,51	0,47	0,49	0,34	0,32	0,60	0,76	0,28	0,27
La _N /Sm _N	4,41	5,21	4,00	4,12	5,97	6,39	5,82	5,40	6,68	6,07	3,05	3,65	6,37	5,55
Gd _N /Yb _N	0,99	1,71	0,93	1,13	1,42	2,12	2,00	1,76	2,79	3,32	1,90	1,98	3,50	3,49
La _N /Yb _N	3,93	10,59	4,25	6,41	8,94	18,93	16,57	14,00	30,93	33,43	8,21	10,76	34,74	25,50
Eu/Eu*	0,31	0,26	0,17	0,29	0,44	0,27	0,70	0,58	0,67	0,29	0,50	0,49	0,36	0,37

Anexo I (cont.). Tabela de composição química das unidades estudadas.

	Metaenderbitos/Metacharnoenderbitos Babilônia				Metaultra- máfica	Metanoritos/Metagabronoritos										
	B1	B2	B3	B4		UM1	NGN 1	NGN 2	NGN 3	NGN 4	NGN 5	NGN 6	NGN 7	NGN 8	NGN 9	NGN 10
Elementos Maiores																
SiO ₂	71,03	72,74	66,77	66,80	44,15	55,36	53,63	51,24	52,13	55,71	53,05	50,61	50,55	49,16	51,32	53,76
TiO ₂	0,43	0,33	0,48	0,55	0,16	0,63	1,02	1,56	1,26	0,38	0,48	0,87	0,48	1,90	1,03	0,39
Al ₂ O ₃	14,23	14,14	15,60	15,39	4,37	11,09	11,77	13,18	12,76	15,64	11,11	14,48	11,40	13,53	13,19	11,55
FeO _T	2,45	1,86	3,18	3,01	6,99	9,88	13,57	13,68	13,47	8,51	11,21	13,17	11,91	16,87	13,63	8,90
MgO	0,78	0,76	1,21	1,08	30,85	11,02	6,86	6,09	6,45	5,65	13,91	7,07	13,67	4,67	6,53	13,89
MnO	0,01	0,01	0,01	0,02	0,12	0,15	0,21	0,20	0,21	0,25	0,21	0,24	0,21	0,27	0,21	0,14
CaO	2,38	2,50	3,42	3,05	2,41	8,20	8,10	9,78	10,10	10,02	8,30	10,48	8,20	9,21	9,52	7,93
K ₂ O	2,05	1,35	1,31	1,92	0,02	0,54	0,24	0,25	0,25	0,62	0,42	0,51	0,48	0,38	0,44	0,55
Na ₂ O	4,73	5,05	5,18	5,22	0,01	1,61	2,83	2,23	2,17	1,24	1,46	2,20	1,54	2,38	1,97	1,52
P ₂ O ₅	0,15	0,07	0,28	0,26	0,01	0,05	0,09	0,15	0,08	0,11	0,10	0,13	0,09	0,22	0,17	0,05
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,01	0,01	0,33	0,15	0,05	0,03	0,02	0,21	0,20	0,00	0,19	0,00	0,01	0,27
PF	0,59	0,51	1,41	1,06	9,37	0,54	0,14	0,01	0,01	1,29	0,24	0,43	0,26	0,01	0,43	0,51
Total	98,84	99,33	98,86	98,37	98,79	99,22	98,51	98,40	98,91	99,63	100,69	100,19	98,98	98,60	98,45	99,46
Mg#	-	-	-	-	91,1	72,2	54,1	50,9	52,7	60,7	74,3	55,6	72,8	39,2	52,8	78,4
Norma CIPW																
Q	28,60	30,97	21,53	20,22	0,00	6,34	2,72	2,12	2,50	12,69	0,00	0,00	0,00	0,00	2,14	1,45
C	0,27	0,00	0,12	0,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Or	12,33	8,07	7,94	11,66	0,13	3,24	1,44	1,50	1,50	3,74	2,48	3,02	2,88	2,28	2,65	3,29
Ab	40,74	43,25	44,98	45,40	0,09	13,83	24,35	19,18	18,57	10,70	12,32	18,66	13,23	20,43	17,01	13,03
An	11,02	12,07	15,54	13,25	13,27	21,76	19,02	25,64	24,61	35,95	22,47	28,20	23,12	25,47	26,37	23,38
Di(FS)	0,00	0,01	0,00	0,28	0,01	5,57	9,71	10,82	11,88	5,68	4,92	10,30	5,08	11,25	9,70	3,74
Di(MS)	0,00	0,01	0,00	0,19	0,05	10,08	8,06	8,22	9,50	5,93	9,68	8,97	9,25	5,30	7,63	9,31
Hy(MS)	1,98	1,91	3,09	2,68	43,21	23,18	13,64	11,61	11,84	11,60	28,71	9,55	21,15	8,17	13,06	30,75
Hy(FS)	3,88	2,92	5,20	4,64	7,20	14,68	18,87	17,54	16,99	12,74	16,72	12,58	13,34	19,91	19,04	14,18
Oi(MS)	-	-	-	-	30,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	2,77	6,39	0,82	0,00	0,00
Oi(FS)	-	-	-	-	5,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,61	4,02	4,44	2,21	0,00	0,00
Il	0,83	0,63	0,94	1,07	0,34	1,21	1,97	3,01	2,42	0,74	0,91	1,66	0,93	3,66	2,00	0,75
Ap	0,35	0,16	0,67	0,62	0,03	0,12	0,21	0,35	0,19	0,26	0,23	0,30	0,21	0,52	0,40	0,12
Elementos Traço																
Rb	48,4	21,4	22,1	19,9	0,7	15,0	1,6	4,3	6,3	19,1	8,6	16,2	13,9	7,0	14,9	24,0
Ba	1134,0	464,0	908,0	1523,0	36,0	155,0	116,0	63,0	59,0	104,0	129,0	129,0	135,0	105,0	116,0	174,0
Sr	452,0	473,0	1305,0	1479,0	10,0	108,0	134,0	104,0	103,0	140,0	88,0	118,0	95,0	118,0	129,0	101,0
Zr	205,0	137,0	240,0	295,0	10,0	50,0	60,0	112,0	59,0	41,0	62,0	83,0	68,0	154,0	137,0	20,0
Nb	4,4	5,2	4,3	5,1	4,9	3,1	4,7	7,1	4,9	0,1	0,5	2,2	2,1	3,0	1,8	6,0
Y	7,6	4,7	13,3	24,7	3,8	13,4	21,9	32,2	24,8	14,2	12,0	24,4	13,9	27,1	23,7	11,2
Ni	14,0	17,0	17,0	13,0	1688,0	239,0	149,0	104,0	92,0	220,0	280,0	129,0	380,0	40,0	95,0	420,0
Co	96,0	133,3	50,1	67,0	81,3	70,6	101,4	79,8	83,0	72,3	68,3	76,0	87,3	64,1	72,0	81,2
Hf	5,20	3,82	5,20	6,62	0,05	1,60	1,87	3,17	2,05	0,70	1,12	2,02	1,49	2,27	1,95	1,08
Ta	0,58	0,82	0,30	0,48	0,32	0,31	0,64	0,67	0,66	0,08	0,08	1,25	0,48	0,25	0,26	0,34
Th	10,70	4,30	22,10	20,30	0,40	1,80	0,50	2,60	1,40	0,40	0,90	2,20	1,60	1,00	2,00	4,10
U	0,44	0,31	0,42	0,36	0,07	0,40	0,10	0,65	0,41	0,08	0,24	0,79	0,48	0,39	0,59	1,12
Elementos Terras Raras																
La	90,90	25,10	183,50	163,60	5,60	11,90	11,20	16,90	12,70	10,90	8,10	22,80	9,90	9,20	12,10	19,20
Ce	132,80	39,00	317,10	293,40	2,30	17,30	19,60	27,40	17,20	10,60	12,70	27,20	16,90	19,60	19,40	25,00
Pr	15,03	4,00	31,11	29,87	0,42	2,03	2,66	3,48	2,23	1,32	1,58	3,18	1,94	2,75	2,76	2,83
Nd	48,50	14,10	103,40	104,30	1,40	8,40	12,60	16,30	10,80	5,70	6,90	13,50	8,40	13,90	12,40	10,70
Sm	5,80	2,20	12,90	14,70	0,30	2,10	3,30	4,50	3,00	1,50	1,80	3,20	1,90	3,70	3,40	2,10
Eu	1,30	0,70	2,38	3,17	0,13	0,63	1,14	1,31	1,06	0,45	0,48	1,03	0,65	1,14	1,12	0,56
Gd	3,75	1,81	7,89	10,15	0,45	2,39	4,21	5,81	3,94	2,06	1,98	3,89	2,15	4,68	3,68	2,10
Tb	0,40	0,23	0,82	1,14	0,08	0,40	0,66	0,96	0,70	0,30	0,28	0,64	0,36	0,76	0,64	0,32
Dy	1,71	1,06	3,19	5,33	0,54	2,54	4,09	6,10	4,46	2,31	2,10	4,40	2,55	5,00	4,28	1,96
Ho	0,30	0,19	0,51	0,89	0,13	0,53	0,86	1,28	0,94	0,45	0,40	0,82	0,42	0,95	0,90	0,43
Er	0,73	0,46	1,20	2,25	0,39	1,44	2,40	3,69	2,88	1,61	1,26	2,56	1,71	3,12	2,81	1,26
Tm	0,09	0,06	0,12	0,27	0,05	0,22	0,36	0,54	0,42	0,19	0,14	0,32	0,15	0,35	0,42	0,18
Yb	0,50	0,30	0,70	1,40	0,40	1,50	2,10	3,50	2,70	1,60	1,20	2,70	1,50	3,00	2,60	1,30
Lu	0,07	0,05	0,09	0,18	0,06	0,21	0,32	0,53	0,42	0,08	0,05	0,19	0,05	0,31	0,24	0,19
LaN/SmN																
LaN/SmN	10,12	7,37	9,18	7,18	12,05	3,66	2,19	2,42	2,73	4,69	2,91	4,60	3,36	1,61	2,30	5,90
GdN/YbN																
GdN/YbN	6,20	4,99	9,32	6,00	0,93	1,32	1,66	1,37	1,21	1,07	1,36	1,19	1,19	1,29	1,17	1,34
LaN/YbN																
LaN/YbN	130,41	60,01	188,03	83,82	10,04	5,69	3,83	3,46	3,37	4,89	4,84	6,06	4,73	2,20	3,34	10,59
Eu/Eu*																
Eu/Eu*	0,85	1,07	0,72	0,79	1,08	0,86	0,94	0,78	0,94	0,78	0,78	0,89	0,98	0,84	0,97	0,82

Anexo 2. Tabela de classificação modal utilizada no diagrama QAP para as unidades metagraníticas.

	Metagranitoide Capela São Francisco						Metacharnockito Metacharnoclerito Rio do Amparo-Bom Sucesso												Metaderbitos Metacharnocleritos Babilônia																
	CSF1	CSF2	CSF3	CSF4	CSF5	CSF6	RABS1	RABS2	RABS3	RABS4	RABS5	RABS6	RABS7	RABS8	RABS9	RABS10	RABS11	RABS12	RABS13	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11	B12	B13	B14	B15	B16
Q	40	58	48	56	50	50	54	40	50	50	36	42	54	47	40	52	46	48	32	46	52	41	38	43	50	46	45	46	40	42	51	38	38	44	38
A	44	18	26	28	33	26	13	36	15	28	36	16	12	30	16	12	30	13	26	14	2	0	0	0	12	17	8	4	2	0	6	4	0	0	
F	16	24	26	16	17	24	33	24	35	22	28	42	34	23	44	36	24	39	42	40	46	59	62	57	38	37	47	50	58	43	58	62	56	62	