



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
PETROLOGIA, METALOGÊNESE E EXPLORAÇÃO MINERAL

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

GEOTERMOBAROMETRIA DE SAFIRINA E GRANADA
GRANULITOS DA PRAIA DA PACIÊNCIA, SALVADOR,
BAHIA – CINTURÃO SALVADOR - ESPLANADA - BOQUIM

DANIELA LEAL RODRIGUES

SALVADOR

2020

**GEOTERMOBAROMETRIA DE SAFIRINA E GRANADA
GRANULITOS DA PRAIA DA PACIÊNCIA, SALVADOR,
BAHIA – CINTURÃO SALVADOR - ESPLANADA - BOQUIM**

Daniela Leal Rodrigues

Orientadora: Profa. Dra. Jailma Santos de Souza de Oliveira

Co-orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia como requisito parcial à obtenção do Título de Mestre em Geologia, Área de Concentração: Petrologia, Metalogênese e Exploração Mineral.

SALVADOR

2020

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Universitária de Ciências e Tecnologias Prof. Omar Catunda, SIBI - UFBA.

R696 Leal-Rodrigues, Daniela

Geotermobarometria de safirina e granada granulitos do afloramento da Praia da Paciência, Salvador, Bahia – Cinturão Salvador - Esplanada – Boquim / Daniela Leal Rodrigues. - Salvador, 2020.

50 f.

Orientadora: Prof^a. Dr^a Jailma Santos de Souza Oliveira

Co-orientador: Prof. Dr. Renato de Moraes

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, 2020.

1. Geologia. 2. Granulitos. 3. Safirina. 4. Termobarometria. I. Souza-Oliveira, Jailma Santos de. II. Moraes, Renato. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

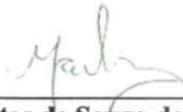
CDU 551

DANIELA LEAL RODRIGUES

**“GEOTERMOBAROMETRIA DE SAFIRINA E GRANADA-
ORTOPIROÊNIO GRANULITOS DO AFLORAMENTO DA
PRAIA DA PACIÊNCIA, SALVADOR, BAHIA”**

Trabalho apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre em Geologia na área de concentração em PETROLOGIA, METALOGÊNESE E EXPLORAÇÃO MINERAL em 13/04/2020.

APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA:



**Dra. Jailma Santos de Souza de Oliveira (Orientadora) -
UFBA**



**Dr. Carlson de Matos Maia Leite (Examinador Externo) -
(PETROBRAS/UFBA)**



**Dra. Angela Beatriz de Menezes Leal (Examinador Interno)
- UFBA**

Salvador – BA
2020

*À cotovia,
Que canta sem cessar,
O dia inteiro não basta.
(Bashô)*

*Flutuando,
Abandona-se ao vento
Uma borboleta.
(Shiki)*

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o fechamento de um ciclo de REconstrução pessoal e profissional, e abertura de tantos outros ... Muitos contribuíram direta e indiretamente neste processo, e alguns serão lembrados aqui...

A minha família: meu filho Tauan, meus pais e meus irmãos, pelo apoio, amor e motivação.

A minha orientadora, professora Jailma, pela confiança, pelos diálogos e incentivos constantes.

A meu coorientador, professor Renato, pela disposição, apoio, participação e confiança, todos fundamentais para o amadurecimento desta pesquisa.

Aos Programas de Pós-Graduação em Geologia da UFBA e de Geociências da USP, ao NGB e Instituto de Geociências da UFBA, pelo apoio. Ao CNPq pela bolsa de estudos e a Capes pelo auxílio através do Edital de Estágio Nacional - UFBA, o qual contribuiu para minha permanência em São Paulo, durante o estágio no IGc - USP.

A Gilca Borges e Daniela Nascimento, alunas de projeto de Iniciação Científica entre 2016 e 2019 sob a minha tutoria, o qual incluiu a minha área de estudo.

A professora Angela e ao professor Carlson, pelas contribuições realizadas em época da defesa.

Ao colega e geólogo Lucas Tesser, “parceiro da safirina”, pelas tantas conversas e compartilhamento de conhecimentos que enriqueceram esta pesquisa.

Aos queridos antigos e novos amigos de SP pelo acolhimento, apoio e andanças na *sãopaulocrazycity*: Márcia, Persie e Marília. A Lucas Delfino, parceria *firmeza*. A Alessandro, Marcelo, Guissela, Sandro, Itiana e João.

A minhas amigas Héliida e Vika, parceiras e grandes incentivadoras das inúmeras “trocas de peles” que vêm me acompanhando ao longo destes anos.

A minha querida Gigi, companheira da *lifestyle askesis-punk*...

A Pajé, Tico e Vivi, pela amizade.

A Marcos, presente inestimável do acaso, por toda a delicadeza...

RESUMO

O afloramento da Praia da Paciência, em Salvador, está inserido no contexto geotectônico do Cráton do São Francisco, no extremo sul do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim. Neste trabalho foi realizado estudo em granada granulito coexistindo com safirina granulito, presentes no afloramento. O primeiro apresenta porfiroblastos de granada e ortopiroxênio envolvidos por matriz formada por plagioclásio \pm feldspato potássico \pm quartzo, e biotita retrometamórfica. Safirina granulito apresenta constituição bastante residual, formada principalmente por simplectitos entre safirina + ortopiroxênio \pm espinélio \pm cordierita, e na matriz menores quantidades de plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, além de biotita retrometamórfica em grande quantidade envolvendo as demais fases. No granada granulito, a granada é uma solução sólida dominada pelo par almandina-piropo, com composição entre $\text{alm}_{55}\text{prp}_{43}$ nos núcleos, e $\text{alm}_{60}\text{prp}_{39}$ nas bordas dos grãos, e conteúdo de Al em ortopiroxênio varia entre 0,30 - 0,43 apfu nos porfiroblastos. No safirina granulito, Al em ortopiroxênio varia entre 0,27 - 0,40 apfu. Condições P - T de pico metamórfico de $\sim 1,04$ GPa e ~ 1015 °C foram obtidas para o granada granulito. Estas condições são compatíveis com metamorfismo de temperatura ultra-alta e é o primeiro relato deste tipo de metamorfismo no Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim. O metamorfismo seguinte envolveu condições de descompressão e resfriamento até o limite inferior próximo a 0,57 GPa e 700 °C. A difusão entre Fe-Mg e *back-reactions* podem ter atuado intensamente durante o estágio de resfriamento no safirina granulito, o que resultou em inconsistência nos cálculos de isolinhas de teor mineral através de pseudoseção. Microestruturas de reações e pseudoseção sugerem que esses litotipos atravessaram trajetória P - T pós pico metamórfico de descompressão quase isotérmica.

Palavras-chave: Cinturão Salvador - Esplanada - Boquim. Granulitos; Safirina; Temperatura ultra alta; Termobarometria.

ABSTRACT

The outcrop of the Paciência's beach, in Salvador city, is located in the geotectonic setting of the São Francisco's Craton, more specifically in the extreme south of the Salvador-Esplanada-Boquim Belt (SEBB). In this work, a study was realized in sapphirine and garnet bearing granulite, present in the outcrop. The first one consists of garnet and orthopyroxene porphyroblasts surrounded by matrix formed by plagioclase ± K-feldspar ± quartz, and retro-metamorphic biotite. The sapphirine bearing granulite presents a very residual constitution, formed mainly by simplectites between sapphirine + orthopyroxene ± spinel ± cordierite, and in the matrix smaller amounts of plagioclase, quartz, potassium feldspar, and retro-metamorphic biotite in great quantity involving the other phases. In the garnet bearing granulite, garnet is dominated by the almandine - pyrope pair, with composition between $alm_{55}prp_{43}$ in the core, and $alm_{60}prp_{39}$ at the rims. Al content in orthopyroxene ranges between 0.43 - 0.30 apfu in porphyroblasts. In the sapphirine bearing granulite, Al in orthopyroxene range in 0.27 - 0.40 apfu. Metamorphic peak P-T conditions ~ 1,04 GPa and ~ 1016 °C were obtained for the garnet bearing granulite. These conditions are compatible with ultra-high temperature metamorphism, and it is the first report of this type of metamorphism in the SEBB. The follow metamorphism involves decompression and cooling conditions up to the lower limit close to 0.57 GPa and 700 °C. The Fe-Mg exchange and back- reactions may have acted intensely during the cooling stage in the sapphirine bearing granulite, which resulted in inconsistency in the calculations of the mineral isopleths through pseudosection. Reaction microstructures and pseudosection suggest that these lithotypes crossed post-peak P-T paths near-isothermal decompression.

Keywords: Salvador - Esplanada - Boquim Belt; Granulites; Sapphirine; Ultra-high temperature; Termobarometry.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO GERAL	9
CAPÍTULO 2 – ARTIGO	13
APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES	42
APÊNDICE B – RESULTADOS RCLC.....	43
APÊNDICE C – RESULTADOS TERMOMETRIA OPX – SPR	45
ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA	46
ANEXO B – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO.....	50

CAPÍTULO 1 INTRODUÇÃO GERAL

Granulitos são rochas formadas em condições anídras da crosta, durante processos que envolvem perturbações térmicas extremas, em temperaturas acima de 800 °C (Pattison *et al.*, 2003). Metamorfismo de temperatura ultra alta (UHT) envolve condições P - T entre 0,7-1,3 GPa e 900-1100 °C (Harley, 1998). Essas condições são raramente recuperadas durante estudos envolvendo geotermometria de troca Fe-Mg. Correções de composição mineral convergindo com teor de Al em ortopiroxênio vêm trazendo bons resultados indicadores de condições UHT (Harley, 1998; Pattison *et al.*, 2003).

A área de estudo está localizada na Praia da Paciência, Rio Vermelho, na cidade de Salvador, Bahia (Figura 1). Está inserida na porção sul do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (CSEB; Oliveira, 2014). O cinturão tem formação associada a evento colisional ocorrido durante o Paleoproterozoico e atribuído à formação do Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá (Barbosa & Sabaté, 2002; 2003; 2004). Seus terrenos são constituídos principalmente por rochas metamórficas orto e paraderivadas, e subordinadamente granitóides e diques fissurais ácidos a intermediários (Oliveira, 2014). Os estudos petrológicos relatados no CSEB ainda não possibilitam o entendimento dos processos geodinâmicos registrados em suas rochas e a compreensão da interação tectônica entre o CSEB e o Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá (CISC) durante a Orogenia Paleoproterozoica.

Um número significativo de estudos petrográficos, litogeoquímicos e de mapeamento geológico, de detalhe e regional, vem sendo desenvolvidos na cidade de Salvador ao longo das últimas décadas (e.g. Abraão filho, 2009; Alem-Marinho, 2013; Barbosa *et al.*, 2005; Carrilho, 2013; Cruz, 2005; Cunha *et al.*, 2018; Leal-Rodrigues, 2017; Marinho, 2013; Mendonça, 2014; Nascimento, 2019; Santos, 2017; Souza-Souza, 2010; Souza, 2013). No entanto, existem lacunas sobre o conhecimento do metamorfismo que atuou nas rochas da área e sua correlação com outras áreas já mapeadas em Salvador e na Bahia. Esta dificuldade é ampliada devido à intensa ocupação urbana dos terrenos de Salvador, restringindo o mapeamento geológico de detalhe na região a afloramentos de praia e áreas expostas por obras de infraestrutura urbana.

Assim, este trabalho se propôs a investigar as condições do metamorfismo que atuou nas rochas da região, através de amostras de safirina e granada-ortopiroxênio granulitos do afloramento da Praia da Paciência. A safirina é um mineral comumente relacionado na literatura a metamorfismo de temperatura ultra alta (Barbosa *et al.*, 2016; Harley, 1989; Harley, 1998; Kelsey *et al.*, 2004, 2005; Leite *et al.*, 2009; Moraes *et al.*, 2002).

Como objetivos específicos, temos:

- a) Estudos petrográficos para identificação e hierarquização das microestruturas indicativas de reações;
- b) Estudos de química mineral para identificação da composição das fases e caracterização da difusão química durante o metamorfismo;
- c) Estudos geotermobarométricos para determinação das condições e trajetórias P - T do metamorfismo experimentado por estas rochas.

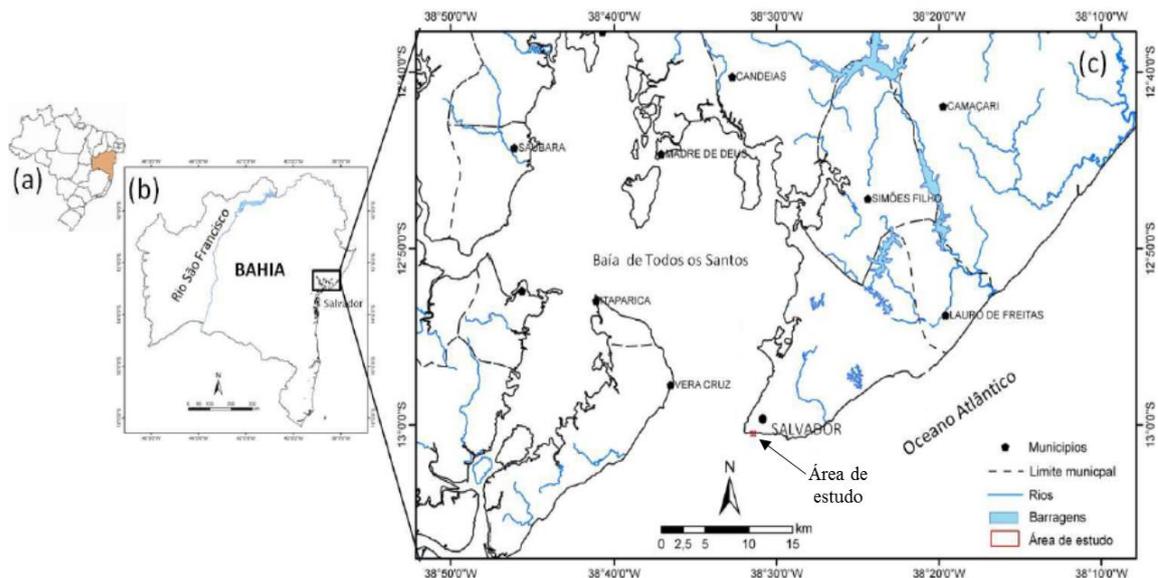


Figura 1 – Mapa de localização: (a) do Brasil destacando em (b) o estado da Bahia e em (c) a localização da cidade de Salvador e área de estudo. CBPM & CPRM (2003).

A integração dos estudos petrográficos, de química mineral e geotermobarometria permitiu a elaboração desta dissertação de mestrado e o resultado final, sob a forma de artigo, foi submetido à publicação na revista científica: *Revista Geologia USP - Série Científica* (Qualis Capes – B2, 2016).

Referências

- Abrahão Filho, E.A. (2009). *Mapeamento Multi-escalar de Estruturas da Área de Influência da Porção Sul da Falha de Salvador, Bahia*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.
- Alem-Marinho, G.P.S. (2013). *Mapeamento Geológico e Análise Estrutural do afloramento da Praia da Paciência (Setor E), Salvador, Bahia*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.
- Barbosa J.S.F. & Sabaté P. (2002). Geological features and the Paleoproterozoic collision of four Archaean Crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil – a synthesis. *Anais Acad. Bras. Ciências*, 74(2), 343-359.
- Barbosa, J.S.F. & Sabaté, P. (2003). Colagem Paleoproterozóica de placas arqueanas do Cráton do São Francisco na Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, 33, 7-14.
- Barbosa J.S.F. & Sabaté P. (2004). Archean and Paleoproterozoic crust of the São Francisco Cráton, Bahia, Brazil: geodynamic features. *Precambrian Research*, 133, 1-27.
- Barbosa J.S.F., Corrêa-Gomes L.C., Dominguez, J. M. L., Cruz S. A S., Souza, J. S. (2005). Petrografia e Litogeoquímica das Rochas da Parte Oeste do alto de Salvador, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, 35 (4), 9-22.
- Barbosa, J.S.F., Menezes-Leal, A.B., Fuck, A.R., Souza-Oliveira, J.S., Gonçalves, P., Leite, C.M.M. (2016). Ultrahigh-temperature metamorphism of 2.0 Ga-Old sapphirine-bearing

granulite from the Itabuna-Salvador-Curaçá Block, Bahia, Brazil. *Geologia USP, Série científica*, 17 (1), 89-108.

Borges, G.C., Leal-Rodrigues, D., Souza-Oliveira, J.S. (2018). Caracterização Estrutural dos Litotipos da Porção Oeste do Afloramento da Praia da Paciência, Salvador - Ba: Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim. *Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão*, 896. Salvador: UFBA.

Carrilho, E. (2013). *Mapeamento e geologia estrutural das rochas do setor oeste do Farol de Itapuã, Salvador, BA: Cinturão Salvador-Esplanada, Cráton do São Francisco*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Cruz, S. A. S. (2005). *Caracterização Petrográfica, Petroquímica e Estrutural do Embasamento Cristalino da Cidade de Salvador–Bahia/Porção Oeste*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Harley, S. L. (1989). The origins of granulites: a metamorphic temperature metamorphism: perspective. *Geological Magazine*, 126, 215-331.

Harley, S. L. (1998). On the occurrence and characterization ultrahigh-temperature crustal metamorphism. In: P. J. Treloar, P. J. O'Brien (Eds), *What Drives Metamorphism and Metamorphic Reactions?* 138, 81-107. London: Geological Society Special Publications.

Kelsey, D. E., White, R. W., Holland, T. J. B. & Powell, R. (2004). Calculated phase equilibria in K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O for sapphirine-quartz-bearing mineral assemblages. *Journal of Metamorphic Geology*, 22, 559-578.

Kelsey, D.E., White, R., Powell, R., (2005). Calculated phase equilibria in K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O for silica-undersaturated sapphirine-bearing mineral assemblages. *Journal of Metamorphic Geology*, 23, 217-239.

Leal-Rodrigues, D. (2017). *Caracterização Petrográfica das rochas metamórficas de alto grau portadoras de safirina e suas encaixantes no afloramento da Praia da Paciência, Salvador, BA*. Trabalho Final de Graduação em Geologia. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Leite, C. M. M., Barbosa, J. S. F., Goncalves, P., Nicollet, C., Sabaté, P. (2009). Petrological evolution of silica-undersaturated sapphirine-bearing granulite in the Paleoproterozoic Salvador- Curaçá Belt, Bahia, Brazil. *Gondwana Research*, 15, 49-70.

Marinho, G. P. S. (2013). *Mapeamento geológico e análise estrutural do afloramento da Praia da Paciência (setor E), Salvador, Bahia*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Mendonça, P. de C. (2014). *Contribuição ao conhecimento geológico do Cinturão Salvador-Esplanada: Enfoque na geologia estrutural do afloramento do Morro do Cristo, Salvador, BA*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Moraes, R., Brown, M., Fuck, R. A., Camargo, M. A., Lima, T. M. (2002). Characterization and P-T evolution of melt-bearing ultrahigh-temperature granulite: an exemple from Anapolis-Ituaçu Complex of the Brasília fold belt, Brazil. *Journal of Petrology*, 13, 1673-1705.

Nascimento, D. C. (2019). *Integração de dados petrográficos e estruturais de litotipos cristalinos de Salvador, Bahia*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Oliveira, E. M. (2014). *Petrografia, litogeoquímica e geocronologia das rochas granulíticas da parte norte do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim, Bahia-Sergipe*. Tese (Doutorado). Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Pattison, D.R.M, Chacko, T., Farquhar, J., Mcfarlane, C.R.M. (2003). Temperatures of granulite-facies metamorphism: constraints from experimental phase equilibria and thermobarometry corrected for retrograde exchange. *Journal of Petrology*, 44, 867-900.

Santos, N. (2017). *Contribuição ao conhecimento geológico do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim: com ênfase ao mapeamento de detalhe estrutural e litológico da Praia da Sereia no Rio Vermelho Salvador – BA*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Souza, J.S. (2013). *Geologia, Metamorfismo e geocronologia de Litotipos de Salvador-Bahia*. Tese (Doutorado). Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Souza-Souza, A. L. (2010). *Mapeamento geológico e análise estrutural do afloramento da praia do Hospital Espanhol, Salvador, Bahia*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

CAPÍTULO 2

**ARTIGO – GEOTERMobarOMETRIA DE SAFIRINA E
GRANADA GRANULITOS DO AFLORAMENTO DA PRAIA
DA PACIÊNCIA, SALVADOR, BAHIA – CINTURÃO
SALVADOR - ESPLANADA - BOQUIM.**

Geotermobarometria de safirina e granada granulitos do afloramento da Praia da Paciência, Salvador, Bahia – Cinturão Salvador - Esplanada - Boquim.

Sapphirine and garnet bearing granulites geothermobarometry of the Paciência's beach, Salvador, Bahia – Salvador-Esplanada-Boquim Belt.

Geotermobarometria de granulitos do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim, Bahia.

Daniela Leal Rodrigues¹, Jailma Santos de Souza de Oliveira², Renato de Moraes³

¹ Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, R. Barão de Jeremoabo, s/n - Ondina, Salvador - BA, Brasil, CEP:40170-290. E-mail: daniellalleal@gmail.com. Telefone: (71) 99265 7072.

² Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia. E-Mail: jailma.souza@ufba.br

³ Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. E-mail: rmoraes@usp.br

Número de palavras: 12365

Total de figuras: 12

Total de tabelas: 7

RESUMO

O afloramento da Praia da Paciência, em Salvador, está inserido no contexto geotectônico do Cráton do São Francisco, no extremo sul do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim. Neste trabalho foi realizado estudo em granada granulito coexistindo com safirina granulito, presentes no afloramento. O primeiro apresenta porfiroblastos de granada e ortopiroxênio envolvidos por matriz formada por plagioclásio ± feldspato potássico ± quartzo, e biotita retrometamórfica. Safirina granulito apresenta constituição bastante residual, formada principalmente por simplectitos entre safirina + ortopiroxênio ± espinélio ± cordierita, e na matriz menores quantidades de plagioclásio, quartzo, feldspato potássico, além de biotita retrometamórfica em grande quantidade envolvendo as demais fases. No granada granulito, a granada é uma solução sólida dominada pelo par almandina-piropo, com composição entre $\text{alm}_{55}\text{prp}_{43}$ nos núcleos, e $\text{alm}_{60}\text{prp}_{39}$ nas bordas dos grãos, e conteúdo de Al em ortopiroxênio varia entre 0,30 - 0,43 apfu nos porfiroblastos. No safirina granulito, Al em ortopiroxênio varia entre 0,27 - 0,40 apfu. Condições *P-T* de pico metamórfico de ~1,04 GPa e ~ 1015 °C foram obtidas para o granada granulito. Estas condições são compatíveis com metamorfismo de temperatura ultra-alta e é o primeiro relato deste tipo de metamorfismo no Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim. O metamorfismo seguinte envolveu condições de descompressão e resfriamento até o limite inferior próximo a 0,57 GPa e 700 °C. A difusão entre Fe-Mg e *back-reactions* podem ter atuado intensamente durante o estágio de resfriamento no safirina granulito, o que resultou em inconsistência nos cálculos de isolinhas de teor mineral através de pseudoseção. Microestruturas de reações e pseudoseção sugerem que esses litotipos atravessaram trajetória *P-T* pós pico metamórfico de descompressão quase isotérmica.

Palavras-chave: Cinturão Salvador - Esplanada - Boquim. Granulitos; Safirina; Temperatura ultra alta; Termobarometria.

ABSTRACT

The outcrop of the Paciência's beach, in Salvador city, is located in the geotectonic setting of the São Francisco's Craton, more specifically in the extreme south of the Salvador-Esplanada-Boquim Belt (SEBB). In this work, a study was realized in sapphirine and garnet bearing granulite, present in the outcrop. The first one consists of garnet and orthopyroxene porphyroblasts surrounded by matrix formed by plagioclase ± K-feldspar ± quartz, and retrometamorphic biotite. The sapphirine bearing granulite presents a very residual constitution, formed mainly by simplectites between sapphirine + orthopyroxene ± spinel ± cordierite, and in the matrix smaller amounts of plagioclase, quartz, potassium feldspar, in addition to retrometamorphic biotite in great quantity involving the other phases. In the garnet bearing granulite, garnet is dominated by the almandine - pyrope pair, with composition between $alm_{55}prp_{43}$ in the core, and $alm_{60}prp_{39}$ at the rims. Al content in orthopyroxene ranges between 0.43 - 0.30 apfu in porphyroblasts. In the sapphirine bearing granulite, Al in orthopyroxene range in 0.27 - 0.40 apfu. Metamorphic peak P-T conditions ~ 1,04 GPa and ~ 1016 °C were obtained for the garnet bearing granulite. These conditions are compatible with ultra-high temperature metamorphism, and it is the first report of this type of metamorphism in the SEBB. The follow metamorphism involves decompression and cooling conditions up to the lower limit close to 0.57 GPa and 700 °C. The Fe-Mg exchange and back- reactions may have acted intensely during the cooling stage in the sapphirine bearing granulite, which resulted in inconsistency in the calculations of the mineral isopleths through pseudosection. Reaction microstructures and pseudosection suggest that these lithotypes crossed post-peak P-T paths near-isothermal decompression.

Keywords: Salvador - Esplanada - Boquim Belt; Granulites; Sapphirine; Ultra-high temperature; Termobarometry.

INTRODUÇÃO

Granulitos são rochas formadas em condições anídras da crosta, durante processos que envolvem perturbações térmicas extremas, em temperaturas acima de 800 °C. Durante muitos anos foi considerado que o limite inferior da fácies granulito seria entre 600-750 °C. Entretanto, esta temperatura está em desacordo com as condições de formação de ortopiroxênio metamórfico, mineral diagnóstico desse tipo de rocha e metamorfismo (Pattison et al., 2003). A explicação para este limite mais baixo se fundamenta na geotermometria utilizando fases ferromagnesianas, pois trocas entre Fe-Mg continuam agindo até as temperaturas de fechamento do par Fe-Mg, durante longos períodos de resfriamento em rochas na base da crosta continental, assim reequilibrando a composição das fases e produzindo temperaturas mais baixas do que as do pico metamórfico (Frost & Chacko, 1989; Selvestone & Chamberlain, 1990; Spear & Florence, 1992; Harley, 1998; Pattison et al., 2003). Metamorfismo de temperatura ultra alta (UHT) envolve metamorfismo crustal em condições P-T entre 0,7-1,3 GPa e 900-1100 °C (Harley, 1998), cujos exemplos são relativamente raros na natureza, com pouco mais de 50 localidades ao redor do globo (Kelsey & Hand, 2015). Estas condições P-T raramente são recuperadas por geotermometria de troca Fe-Mg, e correções de composição mineral normalmente são necessárias (Harley, 1998; Pattison et al., 2003).

O Brasil concentra várias das ocorrências de granulitos de temperatura ultra alta, várias na Bahia, incluindo a primeira descrição de safirina do Brasil (Fujimori & Allard, 1966), a qual é o objetivo do presente trabalho. Aqui é estudada a ocorrência de safirina granulito e granada granulito do afloramento da Praia da Paciência, em Salvador, rochas do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim, e usando microestruturas reacionais, dados de química mineral e geotermobarometria será investigado o metamorfismo que atuou nestas rochas e suas consequências para a compreensão da história evolutiva do CSEB.

CONTEXTO GEOLÓGICO

A área de estudo está inserida no Cráton do São Francisco (CSF), uma importante unidade tectônica da porção centro-leste do Brasil, formado por rochas do Arqueano e Paleoproterozoico, expostas na Bahia e em Minas Gerais. Na região de Salvador, ocorre o Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim (CSEB; Figura 1; Barbosa & Dominguez, 1996; Oliveira, 2014), relacionado ao Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá, com formação paleoproterozoica, em que o eixo de deformação do orógeno foi dividido em dois segmentos, com o CSEB se prolongando a leste, e o Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá (CISC) a oeste (Figura 1; Barbosa & Sabaté, 2002, 2003, 2004).

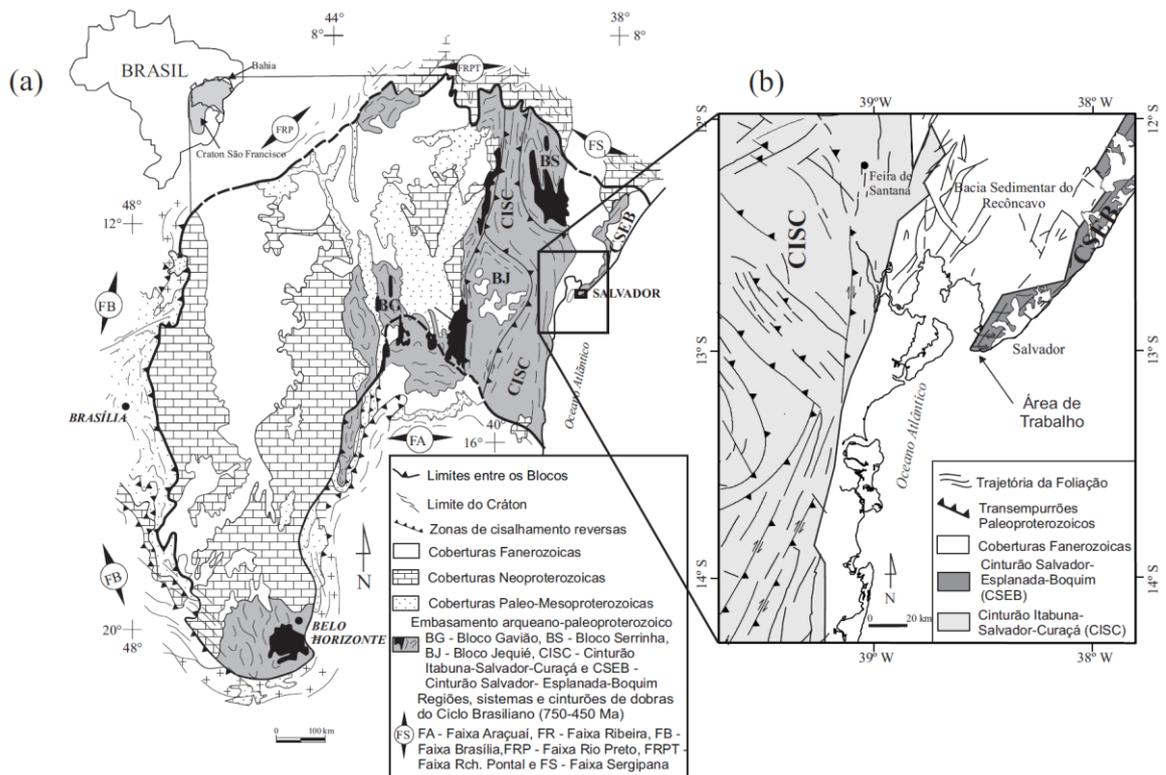


Figura 1 – a) Cráton do São Francisco com os principais compartimentos tectônicos e as faixas brasileiras (adaptado de Alckmin et al., 1993); b) Mapa geológico simplificado da região onde se localiza a cidade de Salvador, evidenciando as principais unidades tectônicas (adaptado de Dalton de Souza et al., 2003)

As rochas do CSEB, na região de Salvador, foram afetadas por metamorfismo da fácies granulito, concomitante à fase deformacional Dn de espessamento crustal, cujas condições P - T do pico metamórfico foram calculadas com pseudosseção, em 0,86 GPa e 830 °C, em campo com a associação mineral ortopiroxênio + clinopiroxênio + plagioclásio, e idade metamórfica de U-Pb zircão (LA-ICP-MS) de ~ 2,1 Ga (Souza, 2013). Condições P - T de 0,75 GPa e 780 °C

foram calculadas via pseudosseção, para granulitos com granada, e a idade do metamorfismo inferida com método U-Th em monazita (LA- ICP-MS) em 2064 ± 9 Ma, atribuída a fase deformacional Dn+1 (Souza, 2013), de caráter transpressional (e.g. Barbosa et al., 2005; Leal-Rodrigues, 2017; Neres et al. 2017; Santos, 2017; Borges et al., 2018; Nascimento, 2019, Souza et al., 2020). Para rochas paraderivadas da porção nordeste do CSEB, contendo granada e sillimanita, condições *P-T* de 0,68 GPa e 860 °C foram determinadas com o cálculo de pseudosseção. A idade do pico metamórfico foi determinada com método U-Pb em zircão (LA-ICP-MS) em 2,08 - 2,07 Ga (Oliveira, 2014).

No CSEB foi descrita a primeira ocorrência de safirina da América do Sul (Fujimori & Allard, 1966), em granulito ultrabásico localizado na Praia da Paciência, Salvador, sendo a rocha constituída por safirina, ortopiroxênio, biotita flogopítica, granada, espinélio, cordierita e zircão. Stormer (1973) admite a origem da safirina a partir de metassomatismo, envolvendo reação de espinélio + SiO₂ e indica condições *P-T* de 0,5 - 0,8 GPa e 1000 °C para o metamorfismo, com base em comparações de dados experimentais da literatura para o campo de estabilidade de ortopiroxênio, cordierita e safirina. Fujimori (1985), refuta essa ideia e propõe que a safirina e o espinélio são minerais primários, e a safirina originada por exsolução de ortopiroxênio. Outra ocorrência de safirina foi relatada no CSEB, nos terrenos de Salvador, em rocha contendo bronzita, safirina, espinélio, minerais opacos, cordierita, feldspato alcalino, apatita, monazita e zircão (Silveira Filho et al., 2014).

Na Bahia, outras ocorrências de granulitos com safirina são conhecidas no Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá. Leite et al. (2009) as identificou na parte norte do CISC, geradas a partir da interação com o fundido de charnockito adjacente, com condições *P-T* calculadas por pseudosseção, em 0,8 GPa e 930 - 1050 °C. Idades U-Th-Pb em monazita (EMP) resultaram em 2057 ± 17 Ma para o granulito com safirina e 2080 ± 26 Ma para o charnockito. Barbosa et al. (2016), identificou granulito com safirina na parte sul do CISC, com condições *P-T* entre 0,7 - 1,1 GPa e 900 - 1000 °C, via termobarometria clássica e THERMOCALC, com idades metamórficas U-Pb SHRIMP em 2.07-2.08 Ga (Silva *et al.*, 2002; Pinho, 2005).

Geologia da Praia da Paciência

Fujimori & Allard (1966) atribuem protólitos de natureza sedimentar às rochas metamórficas da Praia da Paciência, caracterizando-as como sequência de sedimentos pelíticos, quartzo-feldspáticos, carbonatados e, possivelmente, rochas vulcânicas.

Durante mapeamento de detalhe no afloramento (Figura 2; Leal-Rodrigues, 2017; Borges et al., 2018), foram identificadas três litofácies nas rochas metamórficas: granulitos quartzo-feldspáticos, alumino-magnesianos – incluindo os portadores de safirina e granada – e cálcio-magnesianos como enclaves nos quartzo-feldspáticos. Estas rochas encontram-se polideformadas de forma dúctil, com mudanças mineralógicas locais e ocorrência de metatexitos estromáticos, diatexitos nebulíticos com *schlieren*, de acordo com as classificações mais recentes (Sawyer, 2008). Cortando os granulitos, ocorrem corpos monzosienograníticos e dique de diabásio que, por vezes, estão colocados lado a lado.

O safirina granulito da Praia da Paciência ocorre como uma lente *boudinada* e paralela à foliação principal Sn e sob a forma de enclaves nos granulitos quartzo-feldspáticos (Figuras 3a, b, c). São rochas escuras e de granulometria grossa, apresentando foliação incipiente, principalmente nas margens. O granada granulito ocorre às margens do bloco que contém a rocha com safirina (Figuras 3d, e), também sob a forma de *boudin* paralelizado à foliação principal Sn; rocha de coloração cinza azulada, pode ser cortada por veios de composição quartzo-feldspática e granulometria fina. Há poucos metros, aflora um dique máfico de escala métrica, preto, tabular, com mergulhos de até 50° e afinidade toleítica (Barbosa et al., 2005).

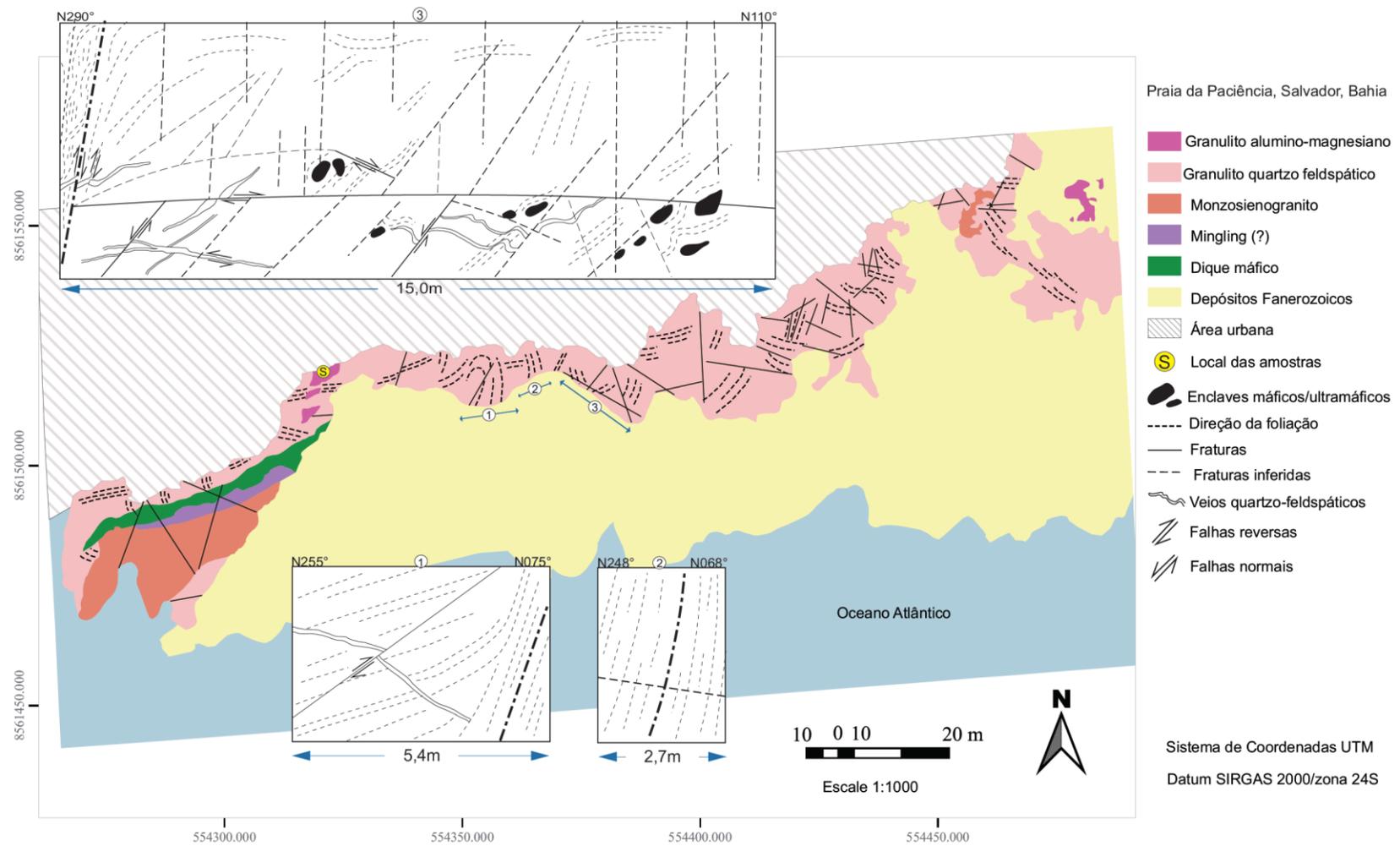


Figura 2 – Mapa geológico do afloramento da Praia da Paciência (adaptado de Borges et al., 2018).

Os corpos monzosienograníticos afloram em muitas regiões em contato com o dique máfico, podendo este conjunto se apresentar deformado (Figura 3f, g). Idades de cristalização U-Pb zircão (LA-ICP-MS) 2064 ± 36 Ma foram obtidas para os monzosienogranitos, interpretados como intrusão tardi Dn+1, gerados na base da crosta continental e colocados em regiões de nível crustal superior, através das zonas de cisalhamento (Souza-Oliveira et al., 2014).



Figura 3 - Safirina granulito observado no afloramento da Praia da Paciência: a) *boudin*, sob a forma de bloco; b) detalhe de visão da face superior da lente; c) sob a forma de enclavo em granulito félsico. Granada-ortopiroxênio granulito: d) cortado por veio quartzo-feldspático; e) visão da rocha, também sob a forma de *boudin*, ocorrendo as margens do bloco que contém a safirina. Em: f) dique máfico de escala métrica e monzosienogranito, colocados lado a lado e em g) detalhe destes corpos apresentando deformação.

PETROGRAFIA

Estudos petrográficos foram realizados em três amostras dos litotipos granada granulito (06SB01a, 01a.2, 01b) e quatro amostras do safirina granulito (06SB03, 312-E, G, H). Um sumário dos minerais de cada amostra e da sua química é apresentado na Tabela 1. Abreviações dos minerais de acordo com Whitney & Evans (2010).

Granada granulito

Granada granulito é uma rocha constituída por porfiroblastos de ortopiroxênio e granada, separados por matriz formada por plagioclásio, biotita e menores quantidades de feldspato potássico e quartzo. Espinélio e cordierita ocorrem compondo simplectitos. Zircão, clorita, minerais opacos e apatita ocorrem como minerais acessórios (Figuras 4a-f).

Tabela 1 – Principais minerais presentes em cada rocha (% = proporção mineral na amostra).

Litotipo	Granada Granulito			Safirina Granulito				
	Amostra	06SB01a	06SB01a.2	06SB01b	06SB03	312 - E	312 - G	312 - H
Mineral								
Bt	%	26	25	22	35	32	25	38
Pl	%	21	20	28	traço	14	10	-
	An	29 - 43	35 - 36	19 - 31	-	-	-	-
Opx	%	20	22	14	27	10	20	30
	X _{Mg}	0,64 - 0,68	0,62 - 0,66	0,64 - 0,69	0,68 - 0,77	-	-	-
	Al (apfu)	0,22 - 0,43	0,29 - 0,35	0,26 - 0,40	0,27 - 0,40	-	-	-
Grt	%	15	12	18	traço	15	-	traço
	X _{Mg}	0,37 - 0,45	0,35 - 0,42	0,30 - 0,45	0,46 - 0,48	-	-	-
Spr	%	-	-	-	23	1	8	24
	X _{Mg}	-	-	-	0,83 - 0,87	-	-	-
Spl	%	6	9	4	6	7	10	5
	X _{Mg}	0,36 - 0,38	-	-	0,39 - 0,42	-	-	-
Crd	%	5	6	3	1	12	20	1
	X _{Mg}	0,86 - 0,88	0,74 - 0,79	0,78 - 0,80	-	-	-	-

Ortopiroxênio ocorre como porfiroblastos ou compondo simplectitos. Os porfiroblastos (Opx₁; 1,7 - 2,5 mm) apresentam bordas recristalizadas ou substituídas por simplectitos (Figuras 4a, c) formados por espinélio + cordierita + ortopiroxênio (Opx₂). Pequenos grãos xenoblásticos foram identificados na matriz (Figuras 4e, f). Granada ocorre como porfiroblastos (1,7 - 4,5 mm), com inclusões de plagioclásio, biotita e espinélio, além de simplectitos de ortopiroxênio₂ + espinélio + cordierita podendo substituir suas bordas, ou como grãos na matriz (Figuras 4b; 6 a, b, c). Plagioclásio ocorre sob a forma de agregados granulares (Pl₁), com dimensões de porfiroblastos (1,5 - 1,8 mm), com contatos próprios poligonais a curvos. *Moats* de plagioclásio (Pl₂) ± feldspato potássico (1-3%) envolvem os porfiroblastos de ortopiroxênio₁ e granada, separando-os de orlas de biotita orientada e da matriz (Figura 4a; 6a, b, c). Grãos de plagioclásio (Pl₃) da matriz apresentam contatos preenchidos por grãos finos de quartzo (1%) intersticiais e contatos embainhados com feldspato potássico (Figuras 4e, f).

Nos simplectitos, cordierita ocupa as regiões externas (Figura 4c), envolvendo espinélio (Figuras 4d, e) e separando-o das outras fases. Biotita (Bt₁) é subidioblástica ocupando interstícios entre os feldspatos da matriz (Figuras 4e, f), e marca a foliação que contorna porfiroblastos e simplectitos (Figuras 4a). Biotita (Bt₂) xenoblástica substitui a matriz, espinélio e bordas e fraturas dos porfiroblastos de ortopiroxênio e granada (Figuras 4a, b, c, f). Biotita₂ pode ocorrer truncando a biotita₁ (Figura 4), ou foi parcialmente substituída por clorita, durante retrometamorfismo de mais baixa temperatura. Minerais opacos ocorrem exsolvidos em biotita₂, preenchendo fraturas que truncam porfiroblastos de ortopiroxênio e matriz. Zircão ocorre incluído em cordierita, ortopiroxênio₁, plagioclásio₃ e biotita.

Safirina granulito

As amostras do safirina granulito compõem três litofácies. A litofácies 1, amostra 312-E (Figura 5a, b), apresenta porfiroblastos de granada (1,5-2,4 mm), com inclusões de sillimanita acicular, safirina (Spr₁) sob a forma de grãos equidimensionais ou alongados, mesopertita e quartzo. Orlas de plagioclásio ± feldspato potássico (1%), podem envolvê-la. Compõem a matriz plagioclásio, biotita, cordierita e menores quantidades de mirmequita e quartzo. Ortopiroxênio forma simplectitos com espinélio + cordierita substituindo as bordas dos porfiroblastos de granada. Nos simplectitos, espinélio (Spl₂) é envolvido por cordierita. Pequenos grãos de granada, espinélio e safirina ocorrem na matriz.

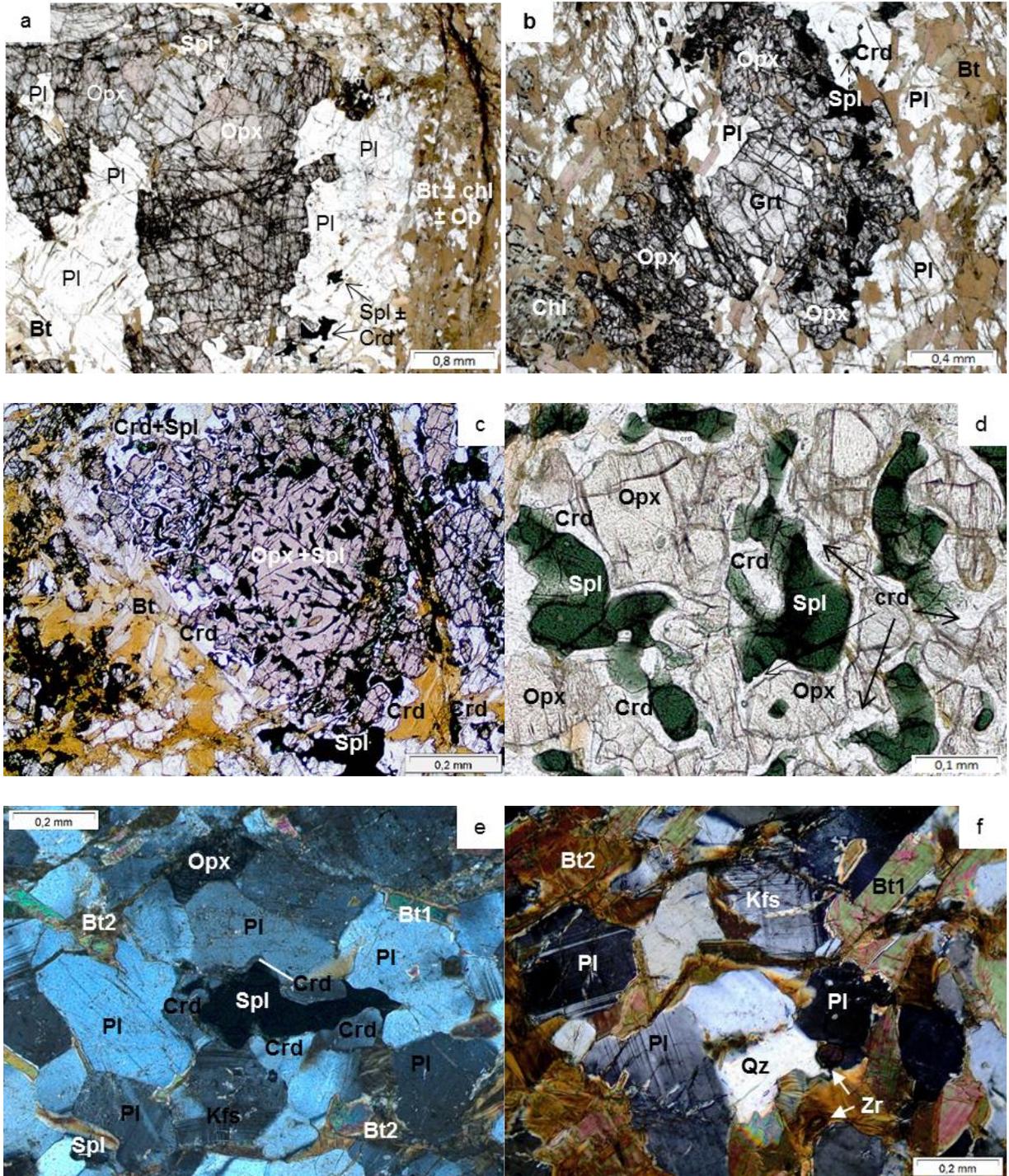


Figura 4 – Fotomicrografias do granada granulito: (a) 06SB01a: agregados de grãos suturados de opx_1 com $spl+crd$ entre os contatos, envolvidos por “*moats*” de pl_2 , e foliação formada por $bt \pm op$ contornando este arranjo; (b) 06SB01a.2: granada com bordas recristalizadas para simplectitos de $opx_2 + spl \pm crd$; (c) 06SB01b: simplectitos formado por $opx_2 + spl$ no centro e $opx_2 + spl + crd$ nas bordas e $pl_2 + bt_1$ envolvendo este arranjo; (d) 06SB01a: crd envolvendo spl e separando-o do opx_2 nos simplectitos; (e) 06SB01a: crd envolvendo grão de spl na matriz e separando-o dos grãos subidioblásticos de pl_3 , Kfs e opx_2 ; bt_1 intersticial entre grãos de feldspatos; (f) 06SB01a: matriz – $Kfs + qz$ entre grãos de pl_3 ; bt_2 substituindo Kfs , pl_3 e bt_1 ; zr entre grãos de pl e qz e incluso em bt_2 .

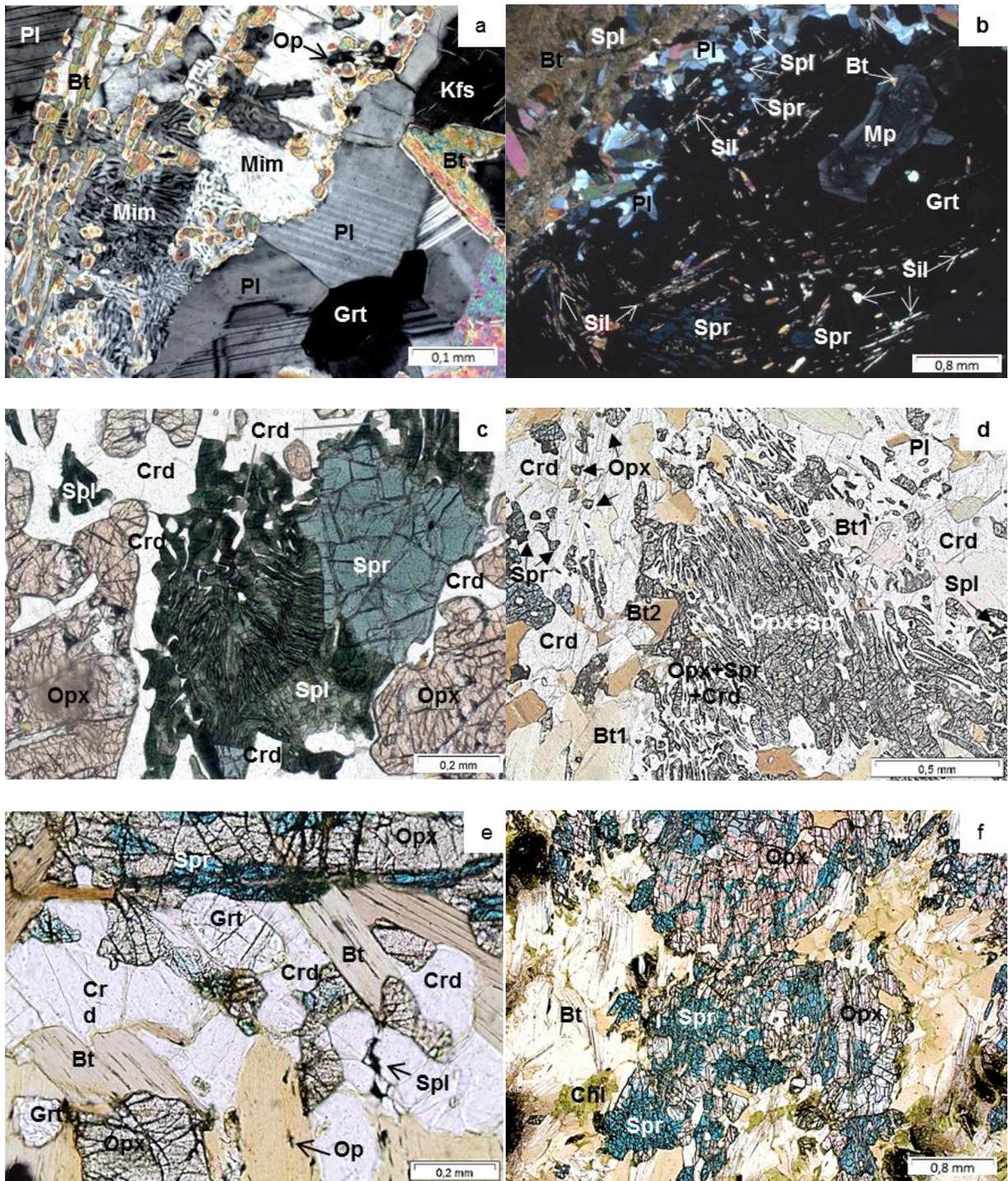


Figura 5 – Fotomicrografias do safirina granulito: (a) 312-E: mim + bt₂ entre grãos de pl + Kfs da matriz; grt entre grãos de pl; (b) 312-E: grt com inclusões de spr₁, sil, mp e bt; bt₃, pl, spl e spr nas bordas de granada; (c) 312-G: spl nas bordas de spr₂, envolvidos por crd que os separa de opx₁; (d) 312-G: simplectito opx₂+spr₃ e crd nas bordas; bt₁ orientada contornando os simplectitos; crd + pl compondo matriz; pequenos grãos xenoblásticos de opx e spr incluídos em crd da matriz; (e) 312-H: grt inclusa em crd, na borda de simplectitos de opx₂+spr₃; bt₁ com contatos retos a serrilhados com opx₂ e spr₃; op exsolvidos em bt₃; (f) 06SB03: simplectitos entre opx₂ + spr₃ separados por matriz de bt; chl substituindo bt.

Na litofácies 2, amostra 312-G (Figuras 5c, d), safirina (8%) ocorre como grãos ou como lamelas em simplectitos. Os grãos de safirina (Spr_2) estão separados de ortopiroxênio por espinélio + cordierita (Figura 5c). Lamelas de safirina (Spr_3) formam simplectitos, por vezes orientados (Figura 5d), com ortopiroxênio (Opx_2) + cordierita \pm espinélio (Spl_2), em que a cordierita ocupa as regiões externas. A matriz é formada por plagioclásio, biotita e menores quantidades de feldspato potássico, cordierita e quartzo (3%). Zircão ocorre incluso em ortopiroxênio, plagioclásio e biotita. Nas litofácies 1 e 2, apatita ocorre inclusa em plagioclásio e duas gerações de biotita foram identificadas, com base nas relações microestruturais: uma subidioblástica (Bt_1) marcando orientação preferencial, podendo contornar simplectitos; outra xenoblástica (Bt_2) truncando a primeira ou substituindo minerais da matriz, bordas de porfiroblastos e simplectitos, com minerais opacos exsolvidos.

A litofácies 3, amostras 312-H e 06SB03 (Figuras 5e, f) apresenta biotita perfazendo grande parte da moda, além de ortopiroxênio e safirina (Tabela 1). Safirina pode ocorrer como agregados granulares suturados com dimensões de porfiroblastos (Spr_2), ou compondo extensos simplectitos com safirina (Spr_3) e ortopiroxênio (Opx_2). Porfiroblastos de espinélio (Spl_1) podem ocorrer entre a safirina₂ e os simplectitos, apresentando inclusões de safirina, cordierita e biotita. Porfiroblastos alongados de ortopiroxênio (Opx_1) podem ocorrer separando safirina₂ dos simplectitos. Na região interna dos simplectitos, a safirina pode se apresentar sob a forma de grãos (0,4-0,7 mm), e na região externa como lamelas (0,05-0,3 mm). Pequenos grãos de granada ocorrem nas bordas dos simplectitos ou inclusos em safirina₃ (Figura 5e). Raros e pequenos grãos de cordierita e plagioclásio podem ocorrer nas bordas destes simplectitos. Biotita (Bt_1) de formas subidioblásticas ocorre no interior ou borda dos simplectitos. Biotita (Bt_2) é xenoblástica, constituindo a matriz, preenchendo fraturas em safirina, ortopiroxênio e espinélio, podendo truncar a biotita₁. Clorita pode ocorrer substituindo biotita₂, quando associada à espinélio, e apatita inclusa em safirina.

QUÍMICA MINERAL

Dados de química dos minerais foram obtidos em duas etapas: no *Laboratoire Magmas et Volcans* da *Université Blaise Pascal* em Clermont-Ferrand, França, utilizando microsonda eletrônica CAMECA SX-100 em condições de operação 15 kV, 15 nA; no Laboratório de Microsonda Eletrônica (EPMA) do Instituto de Geociências (IGc), NAP Geoanalítica, da Universidade de São Paulo (USP), utilizando a microsonda eletrônica JEOL JXA-FE-8530, com condições de operação de 15 kV e 20 nA e diâmetro de feixe incidente variou entre 5 e 10 μ m. O cálculo das fórmulas estruturais foi feito com o programa Ax de Tim Holland. Abreviações de acordo com Whitney & Evans (2010).

Granada

No granada granulito, os porfiroblastos de granada nas amostras 06SB01a (2 lâminas) e 06SB01b têm composição dominada pela solução sólida do par almandina-piropo, que varia entre alm_{52-55} e prp_{40-43} nos núcleos, e alm_{55-60} e prp_{28-39} nas bordas (Tabelas 2 e 3). Na amostra 06SB01a (Figura 6a; Tabela 2), a composição da granada varia entre $alm_{52,2-59,7}$ e $prp_{43,6-39,4}$, ambos do núcleo para a borda. Os conteúdos revelam aumento de Fe e diminuição de Mg do núcleo para as bordas. Conteúdos de espessartita ($sps_{1,5-2,0}$) aumentam do núcleo para a borda, e grossulária ($grs_{3,7-0,2}$) tende a diminuir nesta direção. A granada da amostra 06SB01a - lâmina 2 (Figura 6b; Tabela 3), em perfil, a composição tem $alm_{60,6 - 59,0 - 55,1}$ $prp_{35,6 - 36,1 - 39,6}$, com X_{Mg} entre 0,38 - 0,40, e os maiores valores obtidos na borda em contato com simplectitos formados por ortopiroxênio (Opx_2) + espinélio + cordierita. Demais conteúdos, do núcleo em direção a borda com os simplectitos, foram: $grs_{0,0-3,6}$ e $sps_{1,7-2,5}$.

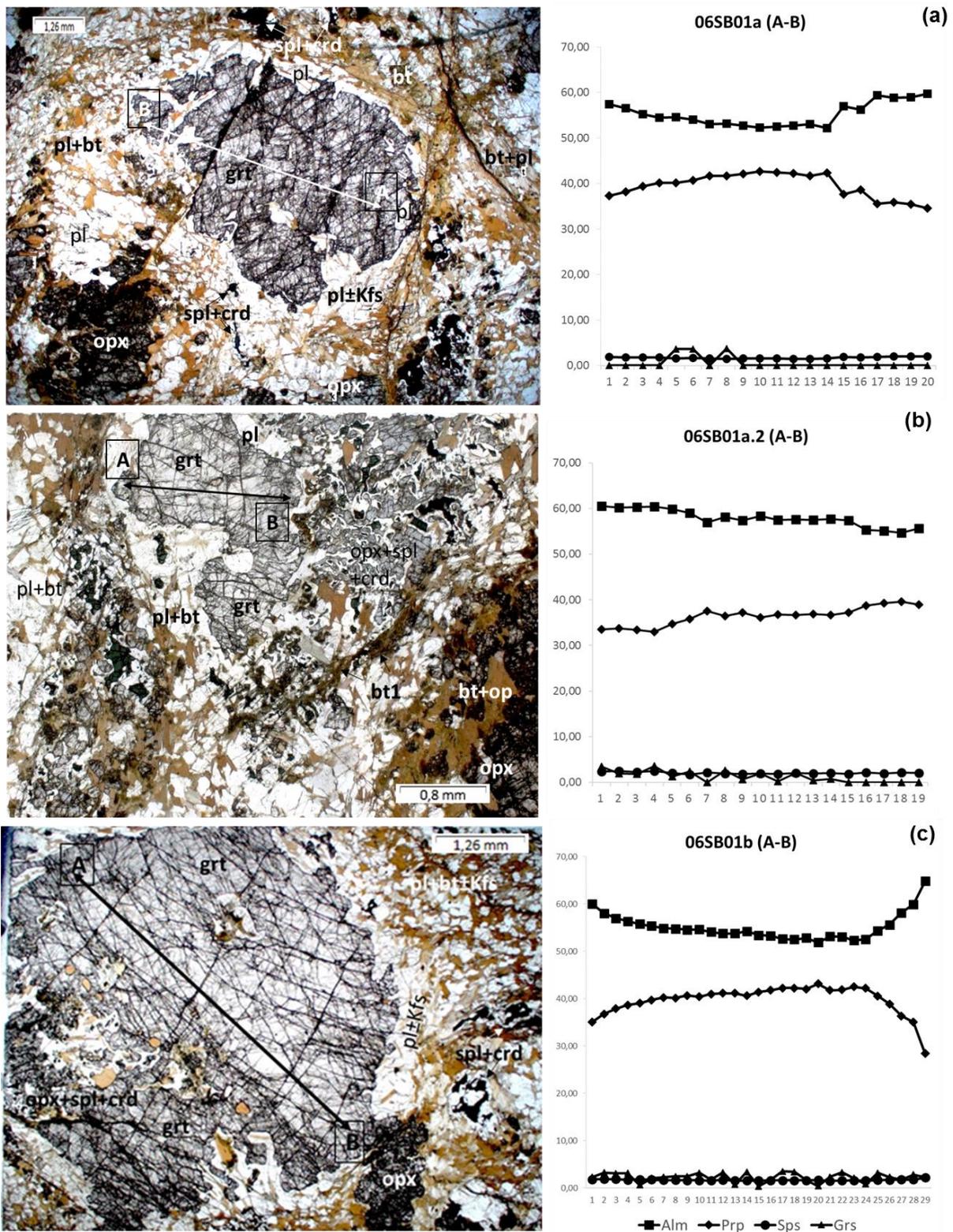


Figura 6 – Fotomicrografias dos porfiroblastos de granada com seus respectivos perfis de zoneamento composicional, no granada granulito (a) 06SB01a; (b) 01a.2 e (c) 01b, em que os perfis A-B foram realizados de borda a borda, através do núcleo.

Em porfiroblasto de granada da amostra 06SB01b (Figura 6c; Tabela 2), a composição, do núcleo para a borda, varia em $\text{alm}_{51,3}\text{prp}_{45,2}$ para $\text{alm}_{64,8}\text{prp}_{28,4}$, expressando relação inversa

entre Fe e Mg. Demais conteúdos são: $grs_{0,4-3,5}$ e $sps_{1,5-2,2}$, valores do núcleo para a borda. X_{Mg} varia entre 0,45 - 0,36 do núcleo para a borda (Tabela 2).

No safirina granulito, amostra 06SB03 da litofácies 3, granada ocorre como pequenos grãos em meio às lamelas de safirina₃ dos simplectitos. Análises pontuais em granada indicam composição $alm_{47,8-51,3}prp_{43,6-44,0}$. Demais conteúdos são $sps_{1,3-1,6}$ e $grs_{-0,5-0,0}$. X_{Mg} varia entre 0,46 - 0,48, sendo os maiores valores para X_{Mg} em granada nas quatro amostras (Tabela 3).

Ortopiroxênio

Nas amostras 06SB01a e 06SB01b do granada granulito, ortopiroxênio (Opx_1) ocorre como porfiroblastos, agregados de grãos e em simplectitos (Opx_2) com cordierita + espinélio ± granada.

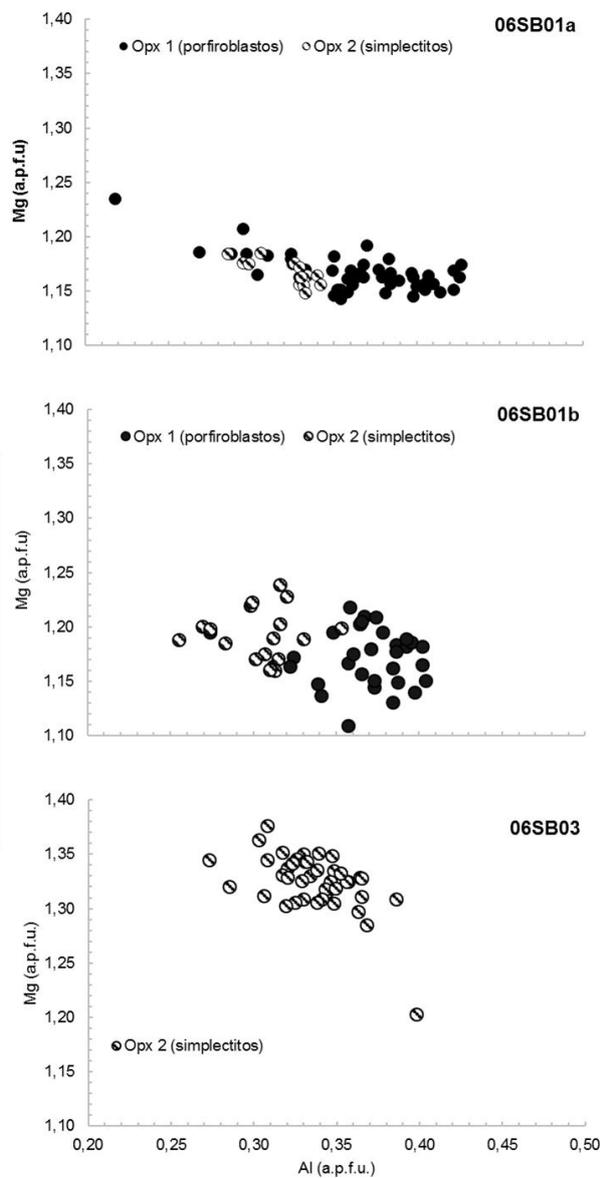


Figura 7 – Gráficos apresentam a relação entre Al e Mg (apfu) nas diversas texturas formadas por ortopiroxênio nas amostras do granada granulito (06SB01a, 01b) e safirina granulito (06SB03), porfiroblastos e grãos nos simplectitos. a.p.f.u. = *atom per formula unit*.

As análises dos porfiroblastos de ortopiroxênio (Opx_1) na amostra 06SB01a (Tabela 2) resultam em conteúdo de Al_2O_3 entre 5,05 - 9,87 wt % (0,22 - 0,43 a.p.f.u.) das bordas em direção ao núcleo. Valores de X_{Mg} estão entre 0,64 e 0,68 e apresentam aumento em direção as bordas. Lamelas de ortopiroxênio em simplectitos (Opx_2) apresentam conteúdos mais baixos de Al_2O_3 do que os obtidos nos porfiroblastos, entre 6,63 - 7,85 wt % (0,29 a 0,34 a.p.f.u) e X_{Mg} varia entre 0,64 e 0,66.

Na amostra 06SB01b (Tabela 2), análises de porfiroblastos (Opx_1) apresentam conteúdos de Al_2O_3 entre 6,28 - 9,3 wt % (0,27 - 0,40 a.p.f.u.), diminuindo do núcleo em direção às bordas. Os grãos de ortopiroxênio dos simplectitos (Opx_2) com cordierita + espinélio, apresentam conteúdos de Al_2O_3 entre 5,88 - 8,08 wt % (0,26 - 0,35 a.p.f.u.). X_{Mg} varia entre 0,64 e 0,69 exibindo padrão oscilatório ao longo do perfil nos porfiroblastos.

No safirina granulito, análises na amostra 06SB03 em grãos de ortopiroxênio dos simplectitos (Opx_2) com safirina apresentam conteúdos de Al_2O_3 entre 6,41 - 9,17 wt % (0,27 - 0,40 a.p.f.u.), com os valores mais altos em grãos de ortopiroxênio na região interna dos simplectitos. X_{Mg} oscila entre 0,77 - 0,74 (Tabela 3).

Em termos gerais, ao comparar os valores de X_{Mg} , entre as três amostras dos dois litotipos, obtém-se a seguinte relação: $X_{Mg}06SB01a < X_{Mg}01b < X_{Mg}03$. Em todas as análises, os conteúdos de Al_2O_3 e MgO apresentam relação inversa (Figura 7).

Safirina

Foram realizadas análises pontuais em grãos de safirina (Spr_3) na amostra 06SB03 do safirina granulito, em que a safirina forma simplectitos com ortopiroxênio (Opx_2). Os grãos de safirina são mais grossos na parte interna e mais finos formando lamelas nas regiões externas dos simplectitos (Figura 5h). Todas as análises se espalham entre as proporções ideais 7:9:3 e 2:2:1 dos membros finais da safirina (Figura 8), sendo que os grãos finos são ligeiramente mais aluminosos do que os grossos com conteúdo de Al entre 8,38 - 8,70 a.p.f.u. nos finos e 8,28 - 8,59 a.p.f.u. nos grossos. X_{Mg} varia entre 0,82 - 0,87 (Tabela 3).

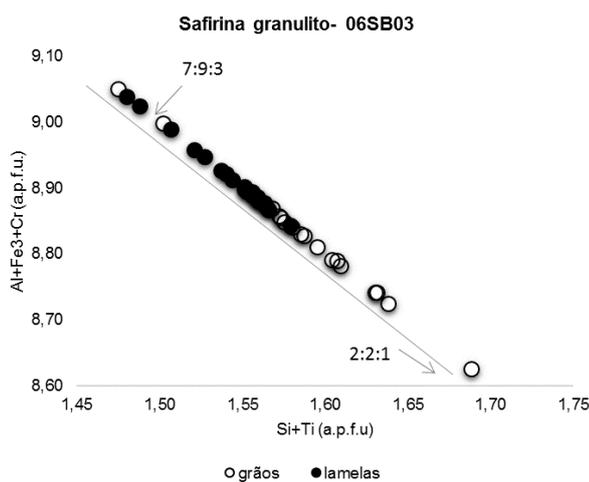


Figura 8 – Gráfico $Al + Fe^3 + Cr \times Si + Ti$ em amostra 06SB03 – litofácies 3, safirina granulito.

Tabela 2 – Análises representativas de química mineral para as amostras 06SB01a e 01b do granada granulito.

Amostra	06SB01a								06SB01b							
	Mineral	Grt	Grt	Opx ₁	Opx ₁	Opx ₂	Pl ₁	Pl ₁	Pl ₃	Grt	Grt	Opx ₁	Opx ₁	Opx ₂	Pl ₁	Pl ₁
Posição	núcleo	borda	núcleo	borda		núcleo	borda		núcleo	borda	núcleo	borda		núcleo	borda	
SiO ₂	39,56	38,34	47,50	50,01	48,41	60,09	56,88	58,73	39,91	38,97	47,92	48,94	49,14	60,70	60,35	59,44
TiO ₂	0,04	0,03	0,11	0,07	0,09	0,00	0,05	0,08	0,03	0,01	0,12	0,10	0,02	0,04	0,02	0,07
Al ₂ O ₃	22,92	22,55	9,87	5,03	7,85	25,41	27,77	26,75	22,79	22,59	9,30	6,28	7,20	25,60	25,90	26,11
Cr ₂ O ₃	0,05	0,00	0,04	0,04	0,07	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
Fe ₂ O ₃	0,16	1,38	2,96	3,98	2,66	0,78	0,82	0,09	0,00	0,00	2,73	3,63	2,87	0,02	0,04	0,01
FeO	24,74	27,32	18,20	18,97	20,22	0,00	0,00	0,00	24,88	27,01	18,43	19,63	19,62	0,00	0,00	0,00
MnO	0,74	0,92	0,26	0,24	0,23	0,00	0,00	0,00	0,77	0,86	0,24	0,24	0,20	0,00	0,03	0,00
MgO	11,33	8,89	21,48	22,57	21,00	0,25	0,36	0,00	11,23	9,61	21,61	21,69	21,74	0,00	0,00	0,00
CaO	1,30	1,31	0,08	0,08	0,06	5,84	8,62	7,27	1,31	1,18	0,05	0,05	0,04	6,24	6,47	7,08
Na ₂ O	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	7,83	6,20	7,30	0,01	0,01	0,02	0,00	0,03	7,92	7,85	7,52
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,20	0,17	0,05	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,11	0,08	0,04
Totals	100,84	100,77	100,52	101,09	100,58	100,40	100,87	100,27	100,96	100,25	100,44	100,58	100,89	100,63	100,73	100,46
Oxygen	12,000	12,000	6,000	6,000	6,000	8,000	8,000	8,000	12,000	12,000	6,000	6,000	6,000	8,000	8,000	8,000
Si	2,975	2,940	1,742	1,836	1,789	2,665	2,531	2,612	2,997	2,982	1,759	1,810	1,805	2,680	2,665	2,638
Ti	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,000	0,002	0,003	0,001	0,001	0,003	0,003	0,001	0,001	0,001	0,002
Al	2,032	2,039	0,427	0,218	0,342	1,329	1,457	1,403	2,017	2,038	0,402	0,274	0,312	1,333	1,348	1,366
Cr	0,003	0,000	0,001	0,001	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004
Fe ⁺³	0,009	0,080	0,082	0,110	0,074	0,026	0,028	0,003	0,000	0,000	0,075	0,101	0,079	0,001	0,001	0,003
Fe ⁺²	1,556	1,752	0,558	0,583	0,625	0,000	0,000	0,000	1,562	1,728	0,566	0,607	0,603	0,000	0,000	0,000
Mn	0,047	0,060	0,008	0,007	0,007	0,000	0,000	0,000	0,049	0,056	0,007	0,008	0,006	0,000	0,001	0,000
Mg	1,270	1,016	1,174	1,235	1,156	0,016	0,024	0,000	1,257	1,096	1,182	1,195	1,190	0,000	0,000	0,000
Ca	0,105	0,107	0,003	0,003	0,002	0,278	0,411	0,346	0,105	0,097	0,002	0,002	0,002	0,295	0,306	0,337
Na	0,000	0,003	0,001	0,001	0,000	0,673	0,535	0,630	0,001	0,002	0,002	0,000	0,002	0,678	0,672	0,647
K	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,011	0,009	0,003	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,006	0,004	0,002
cations	8,000	8,000	4,000	4,000	4,000	4,999	4,997	4,999	7,992	7,999	4,000	4,000	4,000	4,994	4,998	4,998
alm	52,25	59,69							52,54	58,04						
prp	42,65	34,62							42,28	36,81						
sps	1,58	2,04							1,64	1,88						
grs	0,44	0,00							3,43	3,25						
X _{An}						28,90	43,04	35,34						30,13	31,16	34,17
X _{ab}						69,96	56,02	64,35						69,25	68,43	65,61
X _{Or}						1,10	0,94	0,31						0,61	0,40	0,20
X _{Mg}	0,45	0,37	0,68	0,68	0,64				0,45	0,38	0,68	0,66	0,66			

Tabela 3 – Análises representativas de química mineral para as amostras 06SB01a.2 do granada granulito e 06SB03 do safirina granulito.

Amostra	06SB01a.2		06SB03											
	Mineral	Grt	Grt	Grt	Opx ₂	Opx ₂	Opx ₂	Opx ₂	Opx ₂	Opx ₂	Spr ₃	Spr ₃	Spr ₃	Spr ₃
Posição	core	rim	inclusa em spr	borda spr lamela	borda spr lamela	incluso em grão de spr	borda spr grão	entre grãos de spr	núcleo simplectito	Grãos no núcleo do simplectito		Lamelas na borda do simplectito		
SiO ₂	38,94	38,87	39,66	49,19	50,56	49,00	49,67	49,12	49,04	12,45	13,69	12,55	13,26	13,15
TiO ₂	0,03	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,08	0,04	0,01	0,04	0,05	0,00	0,00	0,06
Al ₂ O ₃	21,97	21,84	23,15	9,17	6,41	8,66	7,75	8,54	9,11	61,68	59,21	62,58	59,74	60,75
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,04	0,01	0,09	0,04	0,09	0,07	0,07
Fe ₂ O ₃	1,03	0,20	0,17	0,00	3,01	3,49	2,77	3,35	3,26	5,04	5,02	3,72	5,09	3,99
FeO	26,65	28,04	22,56	18,29	15,54	15,64	15,81	15,35	14,72	4,54	5,67	4,85	5,70	5,80
MnO	0,84	1,13	0,64	0,20	0,19	0,23	0,22	0,24	0,22	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
MgO	9,69	8,58	11,68	21,92	25,02	23,89	24,30	24,12	24,44	17,14	17,28	17,05	16,93	16,90
CaO	1,30	1,53	2,67	0,13	0,04	0,08	0,08	0,07	0,09	0,02	0,04	0,03	0,03	0,00
Na ₂ O	0,02	0,01	0,00	0,04	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
K ₂ O	0,02	0,00	0,00	0,10	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	100,49	100,20	100,56	99,05	100,81	101,05	100,71	100,89	100,92	101,03	101,01	100,88	100,82	100,72
Oxigênios	12,000	12,000	12,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	6,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000
Si	2,980	3,001	2,971	1,811	1,823	1,768	1,795	1,772	1,763	1,471	1,626	1,480	1,578	1,561
Ti	0,002	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,004	0,004	0,000	0,000	0,005
Al	1,982	1,988	2,045	0,398	0,273	0,368	0,330	0,363	0,386	8,594	8,289	8,701	8,383	8,504
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,008	0,004	0,008	0,006	0,007
Fe ⁺³	0,060	0,012	0,010	0,000	0,082	0,095	0,075	0,091	0,088	0,449	0,449	0,330	0,456	0,356
Fe	1,706	1,810	1,413	0,563	0,469	0,472	0,478	0,463	0,443	0,449	0,563	0,479	0,567	0,576
Mn	0,054	0,074	0,041	0,006	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	1,105	0,987	1,304	1,203	1,345	1,285	1,309	1,297	1,309	3,019	3,058	2,997	3,003	2,990
Ca	0,107	0,127	0,214	0,005	0,002	0,003	0,003	0,003	0,004	0,003	0,005	0,003	0,003	0,000
Na	0,003	0,001	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,002	0,000	0,002	0,000
K	0,002	0,000	0,000	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
cátions	8,000	8,000	8,000	3,994	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000
alm	57,40	60,37	47,54											
prp	37,18	32,92	43,88											
sps	1,82	2,47	1,38											
grs	0,66	0,01	0,00											
X _{Mg}	0,39	0,35	0,48	0,68	0,74	0,73	0,73	0,74	0,75	0,87	0,84	0,86	0,84	0,84

Plagioclásio

Para as análises químicas de plagioclásio no granada granulito, foram selecionados porfiroblastos (PI₁) e grãos na matriz (PI₃), incluindo os que envolvem simplectitos (Tabela 2). A hierarquização entre os grãos de plagioclásio foi baseada nas relações microestruturais. Não foram selecionados grãos de feldspato potássico, em virtude da intensa desmistura que os mesmos apresentam.

Na amostra 06SB01a, valores de anortita nos porfiroblastos junto ao ortopiroxênio oscilam entre An₂₉₋₄₃, aumentando do núcleo para a borda, com quantidades muito baixas de potássio, Or_{0,3-1,1}, tendendo a diminuir para as bordas. Na matriz, foram obtidos valores entre An₃₁₋₄₀ com valores irrisórios de potássio, entre Or_{0,1-1,7}, em todos os grãos analisados.

Na amostra 01b, os conteúdos de anortita em porfiroblastos oscilam entre An₁₉₋₃₄ aumentando do núcleo para a borda, e valores de Or_{0,3-0,9} diminuem para a borda. Em grãos da matriz a variação fica entre An₃₁₋₃₇ e Or_{0,1-0,5}.

Quando plotados os dados de composição no diagrama de classificação de feldspatos (Figura 9), os resultados obtidos para porfiroblastos e grãos da matriz da amostra 06SB01a plotam quase que totalmente no campo da andesina, enquanto que os resultados da amostra 01b apresentaram composição andesina para os grãos da matriz, e principalmente oligoclásio para os porfiroblastos.

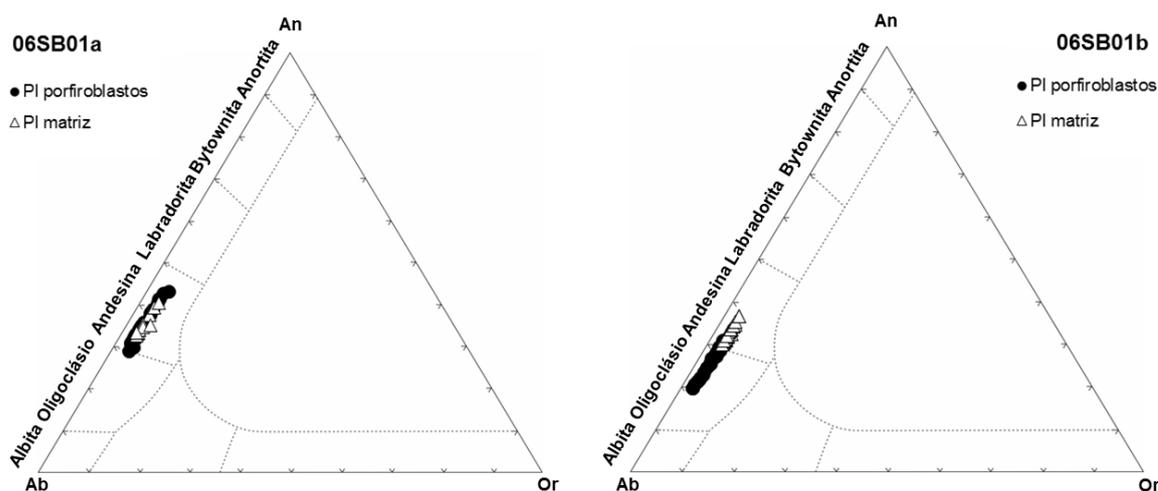


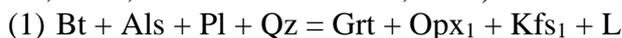
Figura 9 – Diagrama ternário An – Ab – Or (Deer *et al.*, 1993) de classificação para feldspatos no granada granulitos, para as amostras (a) 06SB01a e (b) 06SB01b.

INTERPRETAÇÃO DAS MICROESTRUTURAS DE REAÇÕES

Granulitos são rochas formadas em condições extremas de temperatura e podem atravessar múltiplos episódios de deformação em que as modificações nas trajetórias *P-T*, aliadas a aporte de fluidos ou remoção/retenção do fundido gerado, podem trazer alterações no equilíbrio entre os minerais do pico metamórfico, interferindo significativamente nas relações texturais e obliterando os registros da fase progressiva anterior ao pico metamórfico, assim como da fase pós pico metamórfico (Ellis, 1987; Moraes *et al.*, 2002). Ainda assim, é possível considerar que microestruturas são evidências-chave para inferir a trajetória *P-T* do metamorfismo (Harley, 1989; Harley, 1998; Kohn & Spear, 2000; Moraes *et al.*, 2002; Spear & Florence, 1992). Portanto, uma parte significativa das microestruturas descritas é interpretada como formada durante a descompressão e ou resfriamento logo após o pico metamórfico, e as reações inferidas são apresentadas com base na interpretação dessas.

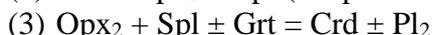
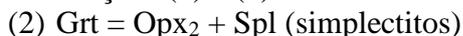
Granada granulito

Porfiroblastos de granada e ortopiroxênio de alto Al (Opx₁; Tabela 2), envolvidos por matriz formada por plagioclásio ± feldspato potássico ± quartzo, podem ter sido produzidos durante processos de fusão parcial por desidratação, passando por estágio de metamorfismo progressivo, em condições de *T* acima de 800 °C e *P* entre 7-15 kbar, através de reações (1) de quebra da biotita (Clemens & Wall, 1981; Clemens & Vielzeuf, 1987; Le Breton & Thompson, 1988; Spear *et al.*, 1999; Vielzeuf & Schmidt, 2001):

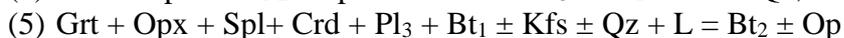


Algumas microestruturas em granulitos são características de desenvolvimento durante a porção de descompressão quase isotérmica da trajetória *P-T*, tais como simplectitos e orlas (*moats*) de plagioclásio envolvendo granada ou entre ortopiroxênio e granada, comuns em granulitos félsicos contendo a associação granada-ortopiroxênio-plagioclásio-quartzo (*e.g.* Harley, 1998). Estas microestruturas foram observadas nas amostras do granada granulito, como podem ser vistas nas figuras 4a, b e 6a, b, c.

Simplectitos formados por ortopiroxênio (Opx₂) + espinélio ocorrem nas bordas dos porfiroblastos de granada e ortopiroxênio (Opx₁) ou dispersos na matriz (Figuras 4a, b; 6a, b, c). O ortopiroxênio dos simplectitos é menos aluminoso do que os porfiroblastos deste mineral (Tabela 2). Nestes simplectitos a cordierita ocupa as regiões mais externas e envolve espinélio, separando-o das outras fases (Figuras 4c, d, e). Orlas de plagioclásio (Pl₂) ocorrem envolvendo porfiroblastos de granada e ortopiroxênio (Figuras 4a, b; 6a, b, c). Tais microestruturas podem ser indicativas das reações (2) e (3):



Granada, ortopiroxênio e as demais fases dos simplectitos podem ter reagido com fundido não segregado para formar nova matriz (Figuras 4e, f) constituída por plagioclásio (Pl₃) ± feldspato potássico ± quartzo (intersticial) ± biotita (Bt₁). Biotita xenoblástica (Bt₂), associada à minerais opacos, ocorre substituindo os minerais da matriz, preenchendo bordas e fraturas dos porfiroblastos (Figuras 4a, b, c, f; 6a, b, c) e truncando a biotita₁. As reações (4) e (5) envolveram o fundido (L) segregado, mas não extraído que, durante a fase progressiva com a diminuição das condições *P-T*, reagiu com a paragênese anidra, caracterizando as *back-reactions*, como proposto por Kriegsman & Hensen (1998):



Safirina Granulito

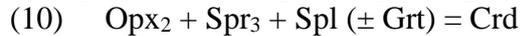
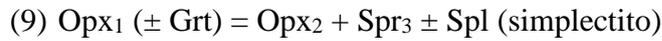
Na litofácies 1, sillimanita e quartzo incluídos em granada podem indicar que granada e feldspato potássico se formaram pela fusão por desidratação da biotita durante metamorfismo progressivo via reação 6 (Figura 5b). Pseudomorfo de safirina, após sillimanita (*e.g.* Vernon, 2004) em granada (Figura 5b), sugere que safirina se formou pela reação (7) com o contínuo aumento de temperatura:



Na litofácies 3, poiquiloblastos de granada foram identificados junto aos simplectitos com safirina₃ (Spr₃, Figuras 5e). Porfiroblastos de ortopiroxênio (Opx₁) podem ocorrer entre os agregados suturados de safirina. Tais microestruturas são interpretadas como indicativas da reação (8) de quebra da granada em alta temperatura:



Nestas rochas ocorrem simplectitos nas bordas de granada (litofácies 1), além de simplectitos formados por ortopiroxênio e safirina (Figura 5f; litofácies 3). Porfiroblastos amebóides de espinélio ocorrem entre os simplectitos de safirina + ortopiroxênio, e ainda podem conter inclusões de safirina₂. Cordierita ocorre nas regiões mais externas dos simplectitos envolvendo o espinélio, quando presente, (Figuras 5c, d, e). As reações inferidas para tais microestruturas são:

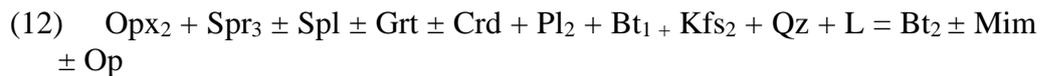


Reações (6) e (7) podem ter se desenvolvido antes do pico metamórfico ser atingido, e a reação (8) pode ter ocorrido próximo deste. Reações (9) e (10) se desenvolveriam durante a fase de descompressão e resfriamento, imediatamente em seguida ao pico metamórfico.

Biotita (Bt₁) foi identificada marcando orientação preferencial que contorna porfiroblastos e simplectitos, ou entre grãos de feldspatos na matriz (Figuras 5a, d, e, f), permitindo supor que as fases anidras reagiram com o fundido não segregado:



Biotita (Bt₃) ocorre comumente com minerais opacos associados, substituindo fases na matriz e simplectitos (Figuras 5b, d, e, f), ou associada à mimerquita (Figura 5a). A interpretação para tais microestruturas é que, durante os estágios tardios de resfriamento, o fundido não segregado rico em K₂O reagiu com as outras fases presentes na rocha através da reação:



GEOTERMOBAROMETRIA

Determinar com precisão a trajetória *P-T* metamórfica de granulitos é uma tarefa complexa, ao mesmo tempo desafiadora e interessante. Isto por diversos fatores, como as temperaturas associadas à sua formação que são suficientemente altas para apagar evidências da fase progressiva (e.g. Harley, 1989). Além disso, a coexistência com fundido durante a fase de resfriamento e descompressão pode consumir e mesmo apagar as evidências das paragêneses de mais alta temperatura que estiveram presentes na rocha (White & Powell, 2002), mesmo que temperaturas ultra-alta tenham sido alcançadas no metamorfismo (Moraes et al., 2002). O cálculo ou recuperação das condições *P-T* do pico metamórfico também é complexa, pois muitos geotermômetros são baseados na troca Fe-Mg entre minerais, e a temperatura de fechamento em sistemas naturais, pode ocorrer em temperatura bem mais baixa do que a do pico. Os cálculos dependem da taxa de resfriamento, do tamanho dos grãos e a presença ou ausência de deformação e fluidos (Frost & Chacko, 1989). Isto implicaria em reequilíbrio entre as fases minerais do sistema/rocha durante o resfriamento/exumação, modificando significativamente as composições minerais e relações texturais, obstando assim o entendimento da tectônica associada à formação de terrenos metamórficos de alto grau (Frost & Chacko, 1989; Selvestone & Chamberlain, 1990; Spear & Florence, 1992; Kohn & Spear, 2000; Pattison et al., 2003).

Para a presente investigação, três métodos foram utilizados para a determinação das condições *P-T* nos granulitos em foco, e os resultados obtidos serão apresentados e discutidos a seguir.

Solubilidade de Al-Opx em equilíbrio com Grt, com correções tardias para troca Fe-Mg

As condições de pico metamórfico do granada granulito foram calculadas utilizando o protocolo de Pattison et al. (2003) e seu programa RCLC, o qual usa o termômetro Fe-Mg entre

granada e piroxênio e dois barômetros dependentes da razão Fe-Mg, a qual é corrigida baseada na proporção modal dos minerais da rocha.

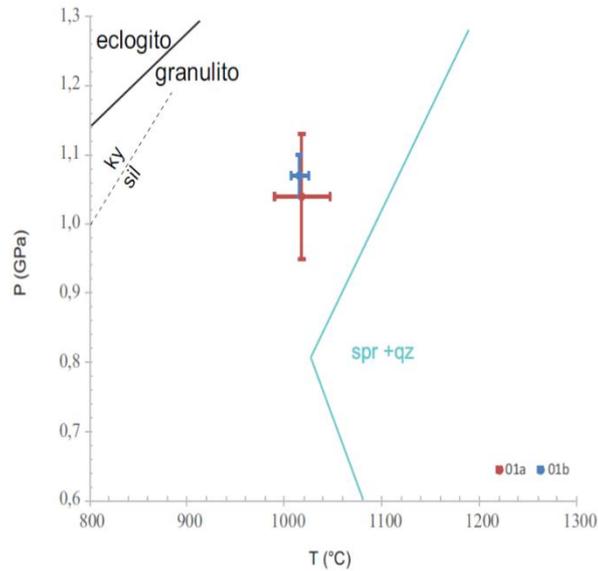


Figura 10 – Gráficos P - T e respectivas barras de erros com a média dos resultados RCLC calculados nos modos 1 e 4 de X_{ALM} em ortopiroxênio, para as amostras 06SB01a e 01b. Limites para as fácies granulito - eclogito e curva dos aluminossilicatos de Winter (2001); curva de estabilidade de spr+qz de Harley (1998).

Tabela 4 – Média dos resultados P - T calculados nos modos 1 e 4 via RCLC para as amostras 06SB01a e 01b do granulito.

Amostra		06SB01a	06SB01b
Modo 01	T (°C)	$1018,8 \pm 27,9$	$1014,4 \pm 9,0$
	P (GPa)	$1,04 \pm 0,09$	$1,07 \pm 0,03$
Modo 04	T (°C)	$1016,3 \pm 27,1$	$1015,9 \pm 9,1$
	P (GPa)	$1,04 \pm 0,09$	$1,07 \pm 0,03$
Média geral	T (°C)	$1016,4 \pm 18,25$	
	P (GPa)	$1,05 \pm 0,6$	

Para o estudo das condições de P - T por este método, foram selecionadas duas amostras: 06SB01a e 01b (Figura 4; Tabela 1). Para os cálculos termobarométricos, foram combinados dados de composição mineral dos núcleos dos grãos de granada e ortopiroxênio, suas proporções modais, e dados de composição mineral de núcleos de porfiroblastos de plagioclásio (Tabela 2). Os cálculos foram realizados em três campos na 06SB01a e dois campos na 01b, e os resultados de P - T calculados nos quatro modos propostos pelo RCLC para as duas amostras podem ser vistos no Apêndice A. Os modos 2 e 3 apresentaram os valores mais altos para T , entre 1100 e 1160 °C e P entre 1,15 e 1,35 GPa, que parecem ser pouco realísticos para os limites conhecidos para o metamorfismo crustal (Harley, 1998). Os cálculos obtidos nos modos 1 e 4 apresentam resultados muito próximos em ambas as amostras, em que a média P - T resultou em 1,05 GPa e 1016,4 °C (Figura 10, Tabela 4, Apêndice A), condizentes com condições de temperaturas ultra altas, com as paragêneses observadas e com os altos teores de Al no ortopiroxênio.

Termometria Opx – Spr

Calibração experimental proposta por Kawazaki & Sato (2002), que considera reações de troca envolvendo Fe-Mg entre ortopiroxênio e safirina, em experimentos no intervalo de P entre 7-16 kbar e T entre 850°-1300 °C.

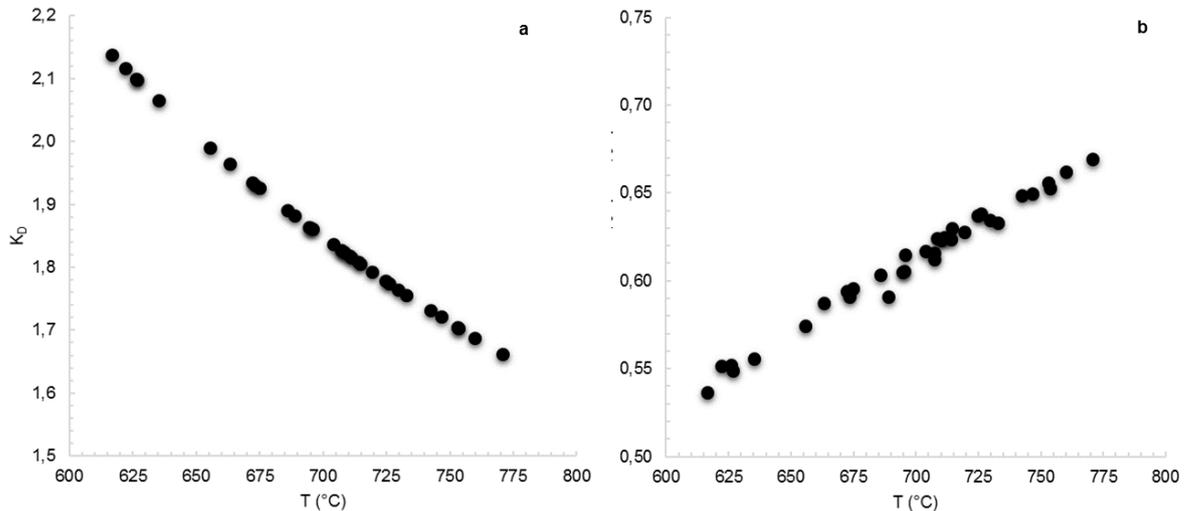


Figura 11 – Gráficos relacionando as temperaturas calculadas para o safirina granulito (amostra 06SB03), utilizando o termômetro Opx – Spr de Kawazaki & Sato (2002): a) $K_D \times T_{calc}$; b) $X_{Fe\ spr} / X_{Fe\ opx} \times T_{calc}$ (°C).

Utilizando pares de safirina e ortopiroxênio de lamelas do mesmo simplectito, foi obtido intervalo de temperaturas calculadas (T_{calc}) entre 616,5° - 770,7 °C, com média de 698,9° \pm 41,4 °C (Apêndice B). Gráfico combinando temperaturas calculadas com os valores de K_D dos pares Opx – Spr (Figura 11a), operando em intervalo de 1,67 - 2,14, apontou linha de tendência em que as maiores T_{calc} estão relacionadas aos menores K_D , coerente com os resultados obtidos por Kawazaki & Sato (2002). O gráfico combinando T_{calc} com os valores para $X_{Fe\ spr} / X_{Fe\ opx}$ (Figura 11b), mostra que as maiores T_{calc} acompanham o aumento da razão.

Pseudosseção P - T

Pseudosseção é a projeção de diagramas de fase construído para modelar o campo de estabilidade, em espaço P - T , das fases minerais para uma composição específica. Tal projeção foi construída com o auxílio do *software* Perple_X (Connolly, 2005), que calcula e exibe os diagramas através de uma base de dados termodinâmicos obtidos experimentalmente ou por cálculos calorimétricos, permitindo demonstrar a trajetória do metamorfismo de uma dada composição química. Para os cálculos, foi utilizada a base termodinâmica de Kelsey et al. (2004) e os seguintes modelos de atividade: Bio (TCC), Gt (WPH), hCrd, Ilm (WPH), melt (HP), Opx (HP), Sapp (KWP), Sp (HP), sendo que as abreviações entre parênteses é resultado do nome dos autores que elaboraram os modelos, os quais estão disponíveis no banco bibliográfico do Perple_X.

Os cálculos para as pseudosseções foram realizados a partir da química de rocha da litofácies 3 do safirina granulito (Tabela 5), amostra 06SB03 (Figura 5f), utilizando-se o sistema MnO-K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O-TiO₂ (MnKFMASTHT).

Os primeiros cálculos realizados utilizando a composição original da rocha, a qual é bastante residual, apresentaram uma pseudosseção não compatível com a petrografia observada

na amostra. Como a petrografia indicou que a biotita tem gênese retrometamórfica, atribuída à fase de resfriamento do metamorfismo, e compõe grande parte da moda, em que substituí as fases anidras e a matriz (Tabela 1), possivelmente como resultado de reações reversas da paragênese anidra com o fundido não segregado (Reação 12), foram realizados ajustes nos teores de K_2O e H_2O na química de rocha total, a fim de obter uma pseudosseção com resultados mais compatíveis com a rocha estudada. A composição original e os ajustes mencionados podem ser visualizados na Tabela 5.

Tabela 5 – Composição de química de rocha da amostra 06SB03 do safirina granulito. Valores em mol apenas os utilizados para os cálculos de P - T no sistema MnKFMASHT. Em negrito, os componentes ajustados.

Amostra	06SB03 (original)		06SB03 (ajustado)
	wt %	mol	mol
SiO ₂	36,25	0,6033	0,6033
TiO ₂	0,69	0,0087	0,0087
Al ₂ O ₃	19,63	0,1925	0,1925
Fe ₂ O ₃	12,48	-	-
FeO	-	0,1563	0,1563
MnO	0,06	0,0008	0,0008
MgO	20,16	0,5001	0,5001
CaO	0,41	-	-
Na ₂ O	0,00	-	-
K₂O	5,62	0,0596	0,0255
P ₂ O ₅	0,19	-	-
H₂O	3,62	0,2010	0,0400
Cr ₂ O ₃	0,02	-	-
NiO	0,01	-	-
Total	99,10	-	-

Na pseudosseção resultante, o campo de estabilidade da safirina apresenta-se no intervalo de temperatura entre 700 - 1100 °C e pressões entre 0,57 - 1,20 GPa (Figura 12). Foram identificados campos de estabilidade para associações minerais identificadas nas amostras do safirina granulito: campo (2) no qual ortopiroxênio + biotita + espinélio + granada + safirina + sillimanita + feldspato potássico é estável em intervalo de pressão entre 0,58 - 0,76 GPa e de temperatura entre 680 - 750 °C; ortopiroxênio + biotita + espinélio + granada + safirina + fundido entre 0,57 - 1,2 GPa e 1000 - 1020 °C; campo (10), no qual ortopiroxênio + biotita + cordierita + espinélio + granada + safirina + fundido estável em 0,57 GPa e 1000 °C; (9) ortopiroxênio + biotita + cordierita + espinélio + safirina + fundido em 0,55 - 0,57 GPa e 970 - 1000 °C. Esta sequência das paragêneses juntamente com as observações petrográficas sugerem que a trajetória P - T , pós pico metamórfico, se deu em condição de descompressão quase isotérmica, até o campo (10) em que a cordierita é estável (Figura 12).

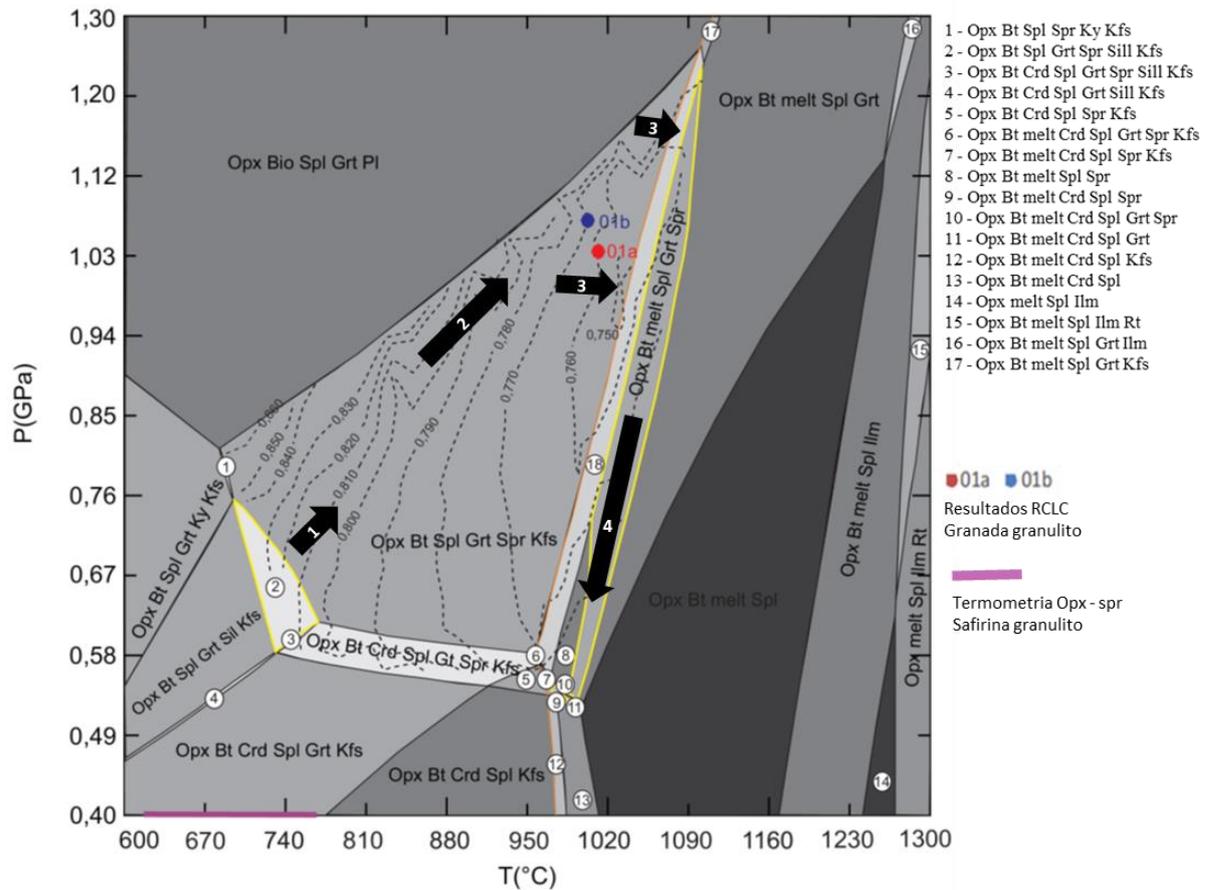


Figura 12 – Pseudosseção P - T para a amostra 06SB03 do safirina granulito. Campos em amarelo se referem às associações minerais identificadas nas amostras pela petrografia. Círculos fechados em vermelho e azul se referem as condições de P - T calculadas pelo método de Pattison *et al.* (2003) para respectivamente as amostras 06SB01a e 01b do granada granulito. Linha em roxo se refere ao intervalo de T calculado pelo termômetro opx-spr. Linhas tracejadas equivalem aos teores de X_{Mg} em safirina calculados pelo Perple_X. As abreviações dos minerais de acordo com Whitney & Evans (2010) com adição de: melt = fundido. Setas em preto numeradas indicam a trajetória P - T proposta neste trabalho para a amostra investigada.

Os resultados das condições P - T calculadas pelo método de Pattison *et al.* (2003) para as amostras 06SB01a e 01b do granada granulito (Figura 10) foram plotados na pseudosseção da Figura 12, sendo estas condições de P - T compatíveis com o campo de estabilidade, no safirina granulito, de ortopiroxênio + biotita + espinélio + granada + safirina + feldspato potássico, paragênese de alta T e P que, na pseudosseção, posiciona-se antes do início da fusão.

Conteúdos de X_{Mg} em safirina e granada, e X_{Mg} e Al em ortopiroxênio foram calculados no Perple_X, utilizando a composição química da amostra, para restrição das condições P - T durante o metamorfismo atuante. Os resultados foram: para X_{Mg} em safirina 0,75-0,86, em granada 0,48-0,69 e em ortopiroxênio 0,74-0,86; Al em ortopiroxênio variou entre 0,05-0,19. Dentre estes, apenas os conteúdos calculados para X_{Mg} em safirina são compatíveis com dados obtidos na química mineral, entre 0,82-0,87 (Tabelas 1 e 3), os quais corresponderiam ao intervalo de estabilidade P - T na pseudosseção entre 1,0 - 0,67 GPa e 880 - 670°C, interpretados como condições de metamorfismo regressivo.

DISCUSSÕES

A fase de espessamento crustal do evento colisional é caracterizada por metamorfismo progressivo, em condições intensas e crescentes de P - T . Neste contexto está inserida a fase deformacional Dn da região da atual Salvador, sul do CSEB. Entretanto, nem todas as amostras estudadas guardam registros do metamorfismo progressivo que possam ser utilizados para restrições dessas condições P - T , conforme visto e que será discutido a seguir.

No granada granulito, no decorrer do metamorfismo progressivo, as reações de quebra da biotita continuam até que seja ela exaurida, produzindo através da reação (1) os porfiroblastos de granada e ortopiroxênio (Opx_1) como fases peritéticas. O pico metamórfico pode ter sido atingido durante o início da fase de descompressão, em condições P - T próximas às calculadas utilizando-se o método de Pattison et al. (2003), em 1,05 GPa e 1015 °C (Figura 10, Tabela 4), as quais são consistentes com metamorfismo UHT (Harley, 1998). Uma quantidade de fundido de composição granítica foi segregada, mas alguma parte possivelmente ficou retida, conforme sugerido pela presença de veios de leucossoma na rocha ou através dos cristais euédricos de plagioclásio (Pl_1) observados e resultado da sua cristalização.

Microestruturas como simplectitos, presentes nos dois litotipos, e *moats* de plagioclásio (Pl_2) envolvendo granada ou entre ortopiroxênio e granada no granada granulito (Figuras 4a, b; 5b, f; 6a, b, c) são interpretadas como desenvolvidas ao longo de estágio do metamorfismo contínuo à evolução térmica progressiva, envolvendo a fase Dn+1 da orogenia, em seguida ao pico metamórfico que caracteriza o espessamento crustal. O alívio das condições de P durante esta fase poderia produzir tais microestruturas (reações 2, 3, 9 e 10) e promoveria fusão adicional de rochas adequadas, componentes da crosta inferior, gerando os corpos monzosienograníticos tardi-tectônicos identificados no afloramento, de idade U-Th monazita ~ 2,06 Ga (Souza-Oliveira et al., 2014).

A pseudosseção calculada a partir da amostra 06SB03, do safirina granulito (Figura 12), produziu campos de equilíbrio entre fases minerais compatíveis com as paragêneses identificadas nas amostras do litotipo. A topologia destes campos sugere uma trajetória metamórfica progressiva com subsequente descompressão quase isotérmica, até o campo em que a cordierita é estável (Figura 12), o que seria coerente com as microestruturas observadas nas amostras. A cristalização da cordierita (Figuras 4c, d, e; 5c, d, e) nas regiões externas dos simplectitos nos dois litotipos sugere regime metamórfico de descompressão em temperaturas mais baixas. A presença do fundido retido foi responsável pelo reequilíbrio da matriz e biotita tardia, ambos formados durante a fase regressiva pela reação entre as fases peritéticas anidras e este fundido (reações 4, 5, 11 e 12), como apresentado e discutido por outros autores (Kriegsman & Hensen, 1998; Kriegsman, 2001; Moraes et al., 2002; White & Powell, 2002; White et al., 2002).

Os cálculos de termometria através do par ortopiroxênio-safirina (Kawasaki & Sato, 2002) para a amostra 06SB03 da litofácies 3 do safirina granulito (Figura 11; Apêndice B) resultaram em intervalo de T que está abaixo do limite considerado para rochas da fácies granulito (Pattison et al., 2003) e mais ainda de metamorfismo UHT (Harley, 1998). É difícil avaliar se as temperaturas calculadas representam o momento de cristalização do simplectito ou de fechamento do sistema Fe-Mg entre ortopiroxênio e safirina. Difusão entre as fases ferromagnesianas promove mudança significativa na composição destes minerais, e não são representativas do equilíbrio durante o pico metamórfico, haja vista a ampla gama de valores de T calculados. Isto também é refletido em alguns resultados da pseudosseção, dada a impossibilidade em se calcular conteúdos de X_{Mg} em granada e X_{Mg} e Al em ortopiroxênio a partir da composição química da rocha usada, que fossem coerentes com os dados de química mineral obtidos via microsonda eletrônica. Estas interpretações são respaldadas pela grande quantidade de biotita tardia presente, corroborando a ideia de que parte do fundido ficou retido

na rocha e reagiu com a paragênese de alta temperatura durante o resfriamento, destruindo boa parte da mineralogia em alguns dos litotipos, como sugerido em alguns estudos teóricos (Kriegsman, 2001; White & Powell, 2002).

Contudo, mesmo que os registros do metamorfismo progressivo no safirina granulito tenham sido parcialmente obliterados durante a fase regressiva, alguns dados indicam que a rocha pode ter passado por condições de metamorfismo UHT durante a fase progressiva. Alguns conteúdos de Al_2O_3 obtidos em grãos de ortopiroxênio compondo simplectitos com safirina (8 - 9 wt%, Tabelas 1 e 3) são consistentes com metamorfismo de temperatura ultra alta. Além disso, os campos de estabilidade na pseudosseção para paragêneses com safirina identificadas nas amostras da rocha e o cálculo de X_{Mg} neste mineral (Figura 12), apresentam condições P - T que atingem 1,20 GPa e 1100 °C.

Na litofácies 3 os simplectitos de ortopiroxênio-safirina já indicam que a origem da safirina é retrometamórfica e que foi formada destruindo outras fases, provavelmente granada \pm ortopiroxênio e alguma outra não identificada, possivelmente um aluminossilicato (sillimanita). Em outros cinturões metamórficos, a safirina é um mineral comumente relacionado ao metamorfismo de temperatura ultra alta, como nas rochas investigadas. No entanto, aqui a safirina ocorre como um mineral reequilibrado durante a diminuição das condições metamórficas e, assim, mesmo que em alta temperatura, foi um mineral formado pela destruição dos minerais do pico metamórfico, que também não é incomum, como é observado em rochas similares em outros locais do mundo (e.g. Dasgupta et al., 1995; Moraes et al., 2002).

Deste modo, os cálculos termobarométricos através do método de Pattison et al. (2003) produziram os melhores resultados P - T para o pico do metamorfismo das rochas investigadas (Figura 10) e são coerentes com condições de metamorfismo de temperatura ultra alta. Nos terrenos do CSEB, estes resultados são os primeiros relatados compatíveis com metamorfismo UHT.

Diante dos principais resultados de alguns trabalhos anteriores envolvendo metamorfismo e geocronologia de granulitos em terrenos do CSEB e CISC (e.g. Leite, 2002; Leite et al., 2009; Souza, 2013; Oliveira, 2014; Barbosa et al., 2016), é possível considerar que o mesmo evento deformacional e metamórfico afetou as rochas dos dois cinturões durante o Paleoproterozoico – incluindo as rochas deste trabalho – e envolve condições de metamorfismo granulítico, que localmente atingiu temperaturas ultra altas. A diferença entre as condições P - T recuperadas nos diversos trabalhos para o pico metamórfico, a partir dos métodos geotermobarométricos utilizados, pode refletir a difusão Fe-Mg tardia das rochas, durante resfriamento na base da crosta (Frost & Chacko, 1989; Selvestone & Chamberlain, 1990; Spear & Florence, 1992; Kohn & Spear, 2000; Pattison et al., 2003).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os estudos petrográficos e geotermobarométricos de safirina granulito coexistindo com granada granulito no afloramento da Praia da Paciência, em Salvador-BA, permitiu identificar a evolução do metamorfismo, associado nesta pesquisa ao evento orogenético responsável pela formação do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim durante o Paleoproterozoico.

Os resultados produzidos aqui demonstram que o metamorfismo que atuou em granulitos da porção sul do CSEB alcançou condições P - T de pico próximas 1,05 GPa e 1015 °C (Figura 12; Tabela 4), condições estas calculadas pelo método de Pattison et al. (2003) para amostra do granada granulito, e atribuídas à fase Dn de espessamento crustal do referido ciclo orogenético. Estes resultados são compatíveis com metamorfismo de temperatura ultra alta e ortopiroxênio (Opx_1) + granada (Figuras 4a, b; 6a, b, c) seriam as fases peritéticas formadas durante o pico.

O metamorfismo de decompressão crustal, provavelmente de caráter transpressional (D_{n+1}), está associado a condições de metamorfismo que sugerem trajetória de decompressão quase isotérmica responsável pela produção de simplectitos nos dois litotipos e *moats* de plagioclásio envolvendo porfiroblastos no granada granulito (Figuras 4a, b; 5d, e, f; 6b, c). A estabilidade da cordierita (Figura 4c, d, e; 5c, d, e) sugere que as condições de decompressão atingiram relaxamento termal. O reequilíbrio da matriz e a formação de biotita₁ teriam sido produzidos pela interação entre as fases anidras do estágio progressivo e o fundido retido *in situ*. Nos estágios tardios do metamorfismo, em condições de maior resfriamento, biotita₂ se reequilibra em grande quantidade, como produto da reação entre as fases anteriores e o fundido retido rico em K₂O e H₂O.

No safirina granulito, a microestrutura simplectítica entre safirina e ortopiroxênio (Figura 5f) evidencia condição de metamorfismo regressivo para a formação da safirina, mas pode ter acontecido em alta temperatura, já que conteúdos de Al₂O₃ em ortopiroxênio dos simplectitos são consistentes com equilíbrio em condições de metamorfismo UHT e a pseudosseção indicou condições *P-T* de estabilidade para a safirina e paragênese associada que atingiram 1,20 GPa e 1100 °C.

Os resultados obtidos através do termômetro ortopiroxênio-safirina (Kawasaki & Sato, 2002) produziram dados incompatíveis com metamorfismo de fácies granulito. Isto, aliado a evidências de reações da paragênese anidra com o fundido retido durante a fase regressiva, sugere que a composição química dos minerais sofreu modificações significativas durante o resfriamento, interferindo na recuperação das condições do pico termal a partir do referido termômetro.

As inconsistências observadas durante os cálculos no *Perple_X* podem refletir a abertura parcial do sistema metamórfico, já que o protólito fundiu parcialmente, perdeu uma quantidade de fundido desconhecida, e o fundido retido possivelmente reagiu com rochas nas proximidades e com o próprio resíduo inicial para gerar fases como a biotita em grande quantidade durante os estágios tardios do metamorfismo e que modificaria significativamente a composição do protólito da fase progressiva e regressiva.

AGRADECIMENTOS

Essa pesquisa foi financiada pelo CNPQ através da bolsa de estudos (133293/2018-1) e pela CAPES via auxílio financeiro (PROAP) durante a mobilidade acadêmica da discente. Agradecemos aos Programas de Pós-Graduação de Geologia da UFBA e USP, bem como aos pesquisadores do Laboratoire Magmas et Volcans da *Université Blaise Pascal* em Clermont-Ferrand, França, pela realização de parte das análises de química mineral. Aos professores Dr^a Jailma Souza de Oliveira, Dr. Renato de Moraes pelo apoio e pelas orientações.

BIBLIOGRAFIA

- Abrahão Filho, E.A. (2009). *Mapeamento Multi-escalar de Estruturas da Área de Influência da Porção Sul da Falha de Salvador, Bahia*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.
- Alkmim, F. F., Brito Neves, B. B., Alves, J. A. C. (1993). Arcabouço tectônico do Cráton do São Francisco – uma revisão. J. M. L. Dominguez, A. Misi (Eds.), *O Cráton do São Francisco*, 45-62. Salvador: SBG-NBA/SE, SGM, CNPq.
- Barbosa, J. S. F. & Dominguez, J. M. L. (1996). *Texto Explicativo para o Mapa Geológico ao Milionésimo da Bahia*. Salvador: SICM/SGM.

Barbosa J.S.F. & Sabaté P. (2002). Geological features and the Paleoproterozoic collision of four Archaean Crustal segments of the São Francisco Craton, Bahia, Brazil – a synthesis. *Anais Acad. Bras. Ciências*, 74(2), 343-359.

Barbosa, J.S.F. & Sabaté, P. (2003). Colagem Paleoproterozóica de placas arqueanas do Cráton do São Francisco na Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, 33, 7-14.

Barbosa J.S.F. & Sabaté P. (2004). Archean and Paleoproterozoic crust of the São Francisco Cráton, Bahia, Brazil: geodynamic features. *Precambrian Research*, 133, 1-27.

Barbosa J.S.F., Corrêa-Gomes L.C., Dominguez, J. M. L., Cruz S. A S., Souza, J. S. (2005). Petrografia e Litogeoquímica das Rochas da Parte Oeste do alto de Salvador, Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, 35 (4), 9-22.

Barbosa, J.S.F., Menezes-Leal, A.B., Fuck, A.R., Souza-Oliveira, J.S., Gonçalves, P., Leite, C.M.M. (2016). Ultrahigh-temperature metamorphism of 2.0 Ga-Old sapphirine-bearing granulite from the Itabuna-Salvador-Curaçá Block, Bahia, Brazil. *Geologia USP, Série científica*. 17 (1), 89-108.

Borges, G.C., Leal-Rodrigues, D., Souza-Oliveira, J.S. (2018). Caracterização Estrutural dos Litotipos da Porção Oeste do Afloramento da Praia da Paciência, Salvador - Ba: Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim. *Congresso de Pesquisa, Ensino e Extensão*, 896. Salvador: UFBA.

Clemens, J.D. & Wall, V.J. (1981). Origin and crystallization of some peraluminous (S-type) granitic magmas. *Can. Mineral*, 19, 111-131.

Clemens, J. & Vielzeuf, D. (1987). Constraints on melting and magma production in the crust. *Earth & Planetary Science Letters*, 86, 287-306.

Connolly, J.A.D. (2005). Computation of phase equilibria by linear programming: A tool for geodynamic modeling and its application to subduction zone decarbonation. *Earth and Planetary Science Letters*, 236, 524-541.

Dasgupta, S., Sengupta, P., Ehl, J., Raith, M., Bardhan, S. (1995). Reaction textures in a suite of spinel granulites from the Eastern Ghats Belt, India: Evidence for polymetamorphism, a partial petrogenetic grid in the system KFMASH and the roles of ZnO and Fe₂O₃. *Journal of Petrology*, 36, 435-461.

Dalton de Souza, J., Kosin, M, Melo, R. C., Santos, R. A., Teixeira, L. R., Sampaio, A. R., Guimarães, J. T., Vieira Bento, R., Borges, V. P., Martins, A. A. M., Arcanjo, J. B., Loureiro, H. S. C., Angelim, L. A. A. (2003). *Mapa Geológico do Estado da Bahia*. Escala 1:1.000.000. Salvador: Programa carta Geológica do Brasil ao Milionésimo e Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil / CBPM-CPRM.

Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J. (1992). *Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.

- Ellis, D. J. (1987). Origin and evolution of granulites in normal and thickened crust. *Geology*, 15, 167-70.
- Frost, B. R. & Chacko, T. (1989). The granulite uncertainty principle: limitations on thermobarometry in granulites. *Journal of Geology*, 97, 435-450.
- Fujimori, S. (1985). Sapphirine from Salvador, Bahia, Brazil: evidence for formation by exsolution. *Revista Brasileira de Geociências*, 15 (1), 18-24.
- Fujimori, S. & Allard, G.O. (1966). Ocorrência de safirina em Salvador, Bahia. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 15 (2).
- Harley, S. L. (1989). The origins of granulites: a metamorphic temperature metamorphism: perspective. *Geological Magazine*, 126, 215-331.
- Harley, S. L. (1998). On the occurrence and characterization ultrahigh-temperature crustal metamorphism. In: P. J. Treloar, P. J. O'Brien (Eds), *What Drives Metamorphism and Metamorphic Reactions?* 138, 81-107. London: Geological Society Special Publications.
- Kawasaki, T. & Sato, K. (2002). Experimental study of Fe–Mg exchange reaction between orthopyroxene and sapphirine and its calibration as a geothermometer. *Gondwana Research*, 5, 741-747.
- Kelsey D. E. & Hand M. (2015). On ultrahigh temperature crustal metamorphism: phase equilibria, trace element thermometry, bulk composition, heat sources, timescales and tectonic settings. *Geoscience Frontiers*, 6, 311-356.
- Kelsey, D. E., White, R. W., Holland, T. J. B., Powell, R. (2004). Calculated phase equilibria in K₂O-FeO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O for sapphirine-quartz-bearing mineral assemblages. *Journal of Metamorphic Geology*, 22, 559–578.
- Kohn, M. J. & Spear, F. (2000). Retrograde net transfer reaction insurance for pressure-temperature estimates. *Geology*, 28 (12), 1127–1130.
- Kriegsman, L. M. (2001). Partial melting, partial melt extraction and partial back reaction in anatexic migmatites. *Lithos*, 56, 75–96.
- Kriegsman, L. M. & Hensen, B. J. (1998). Back reaction between restite and melt: implications for geothermobarometry and pressure–temperature paths. *Geology*, 26, 1111-1114.
- Leal-Rodrigues, D. (2017). *Caracterização Petrográfica das rochas metamórficas de alto grau portadoras de safirina e suas encaixantes no afloramento da Praia da Paciência, Salvador, BA*. Trabalho Final de Graduação em Geologia. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.
- Le Breton, N. & Thompsom, A.B. (1988). Fluid-absent (dehydration) melting of biotite in metapelites in the early stages of crustal anatexis. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 99, 226-237.
- Leite, C.M.M. (2002). *A Evolução Geodinâmica da Orogênese Paleoproterozóica nas regiões de Capim Grosso-Jacobina e Pintadas-Mundo Novo (Bahia-Brasil): Metamorfismo, Anatexia e Tectônica*. Tese (Doutorado). Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Leite, C. M. M., Barbosa, J. S. F., Goncalves, P., Nicollet, C., Sabaté, P. (2009). Petrological evolution of silica-undersaturated sapphirine-bearing granulite in the Paleoproterozoic Salvador- Curaçá Belt, Bahia, Brazil. *Gondwana Research*, 15, 49-70.

Moraes, R., Brown, M., Fuck, R. A., Camargo, M. A., Lima, T. M. (2002). Characterization and P-T evolution of melt-bearing ultrahigh-temperature granulite: an example from Anapolis-Ituaçu Complex of the Brasília fold belt, Brazil. *Journal of Petrology*, 13, 1673-1705.

Nascimento, D. C. (2019). *Integração de dados petrográficos e estruturais de litotipos cristalinos de Salvador, Bahia*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Neres, E.S., Alves, C.R.S. Cruz, S.C.P., Assumpção H.C.P. (2017). Mapeamento geológico e análise estrutural do afloramento da Praia de Jardim de Alah, Salvador, Bahia. *48º Congresso Brasileiro de Geologia*. Porto Alegre: SBG.

Oliveira, E. M. (2014). *Petrografia, litogeoquímica e geocronologia das rochas granulíticas da parte norte do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim, Bahia-Sergipe*. Tese (Doutorado). Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Pattison, D.R.M, Chacko, T., Farquhar, J., Mcfarlane, C.R.M. (2003). Temperatures of granulite-facies metamorphism: constraints from experimental phase equilibria and thermobarometry corrected for retrograde exchange. *Journal of Petrology*, 44, 867-900.

Pinho, I. A. (2005). *Geologia dos metatonalitos/metatrondhjemitos e dos granulitos básicos das regiões de Camamu-Ubaitaba- Itabuna, Bahia*. Tese (Doutorado). Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Santos, N. (2017). *Contribuição ao conhecimento geológico do Cinturão Salvador-Esplanada-Boquim: com ênfase ao mapeamento de detalhe estrutural e litológico da Praia da Sereia no Rio Vermelho Salvador – BA*. Trabalho Final de Graduação. Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.

Sawyer, E.W. (2008). *Atlas of Migmatites*. Ottawa: The Canadian Mineralogist Special Publication.

Selvestone, J. & Chamberlain, C.P. (1990). Apparent isobaric cooling paths from granulites: Two counterexamples from British Columbia and New Hampshire. *Geology*, 18, 307-310.

Silva, L. C., Armstrong, R., Delgado, I. M., Pimentel, M., Arcanjo, J. B., Melo, R. C., Teixeira, L. R., Jost, H., Cardoso Filho, J. M., Pereira, L. H. M. (2002). Reavaliação da evolução geológica em terrenos pré-cambrianos brasileiros com base em novos dados U-Pb SHRIMP, Parte I: limite centro-oriental do Cráton do São Francisco na Bahia. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(4), 501-512.

Silveira filho, N.C., Burgos, C.M., Menezes, R.C.L., Conceição, H., Macedo, E.P. (2014). Nova ocorrência de safirina na cidade de Salvador – Bahia, em talude de corte da Avenida Luís Viana Filho (Paralela). *47º Congresso Brasileiro de Geologia*, 1058. Salvador: SBG.

- Spear, F.S. & Florence, F.P. (1992). Thermobarometry in granulites: Pitfalls and new approaches. *Journal of Precambrian Research*, 55, 209–241.
- Spear, F. S., Kohn M. J., Cheney, J.T. (1999). P-T paths from anatectic pelites. *Contrib Mineral Petrol.* 134, 17 -32.
- Souza, J.S. (2013). *Geologia, Metamorfismo e geocronologia de Litotipos de Salvador-Bahia*. Tese (Doutorado). Salvador: Instituto de Geociências – UFBA.
- Souza-Oliveira, J.S., Nascimento, D. C., Leal-Rodrigues, D., Barbosa, J. S. F. (2020). Os litotipos cristalinos da cidade de Salvador, Bahia: estágio atual do conhecimento. In: P. F. Pires, F.C. Barbosa, C.E.O. Gontijo (Eds.), *Geociências, Sociedade e Sustentabilidade*, 125-170, Piracanjuba: Conhecimento Livre.
- Souza-Oliveira, J.S., Peucat, J.J., Barbosa, J.S.F.; Correa-Gomes, L.C., Cruz, S.C.P., Menezes-Leal, A.B., Paquette, J.L. (2014). Lithochemistry and geochronology of the subalkaline felsic plutonism that marks the end of the Paleoproterozoic orogeny in the Salvador–Esplanada belt, São Francisco Craton (Salvador, state of Bahia, Brazil). *Brazilian Journal of Geology*, 44(2), 221-234.
- Stormer Jr., J.C. (1973). The composition of sapphirine from Salvador, Bahia and conditions of its formation. *Revista Brasileira de Geociências*, 3,192 -200.
- Vernon, R. (2004). *A Practical Guide to Rock Microstructure*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Vielzeuf, D. & Schmidt, M. (2001). Melting relations in hydrous systems revisited: Application to metapelites, metagreywackes and metabasalts. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 141 (3), 251-267.
- White, R. W. & Powell, R. (2002). Melt loss and the preservation of granulite facies mineral assemblages. *Journal of Metamorphic Geology*, 20. 621-632.
- White, R.W., Powell, R., Clarke, G.L. (2002). The interpretation of reaction textures in Fe rich metapelitic granulites of the Musgrave Block, central Australia: constraints from mineral equilibria calculations in the system $K_2O-FeO-MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O-TiO_2-Fe_2O_3$. *Journal of Metamorphic Geology*, 20, 41-55.
- Whitney, D. L. & Evans, B. W. (2010). Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95, 185-187.
- Winter, J. D. (2001). *An Introduction to Igneous and Metamorphic Petrology*. New Jersey: Prentice Hall.

APÊNDICE A – JUSTIFICATIVA DA PARTICIPAÇÃO DOS CO-AUTORES

O Prof. Dr. Renato de Moraes, um dos coautores do artigo, é coorientador do meu projeto de mestrado, formalmente aprovado por reunião do colegiado deste Programa de Pós-Graduação. O mesmo é Professor Associado no Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, cuja área de atuação é Petrologia Metamórfica, com ênfase em rochas de alto grau, granulitos e migmatitos. Colaborou ativamente durante o desenvolvimento da pesquisa.

APÊNDICE B – RESULTADOS RCLC

Resultados P-T obtidos com método de Pattison et al. (2003) para o granada granulito. A numeração que acompanha os minerais se refere a adotada para o controle dos grãos durante as análises de química mineral.

		MODO 01		MODO 02		MODO 03		MODO 04	
		T (C°)	P (Gpa)						
Amostra 06sb01a									
Campo 01	grt04 (09)-opx01 (14)-pl01 (05)	1008,0	1,04	1099,0	1,14	1105,0	1,15	1005,0	1,04
	grt04 (09)-opx01 (14)-pl01 (14)	1016,0	1,08	1108,0	1,18	1116,0	1,19	1013,0	1,08
	grt04 (11)-opx01 (14)-pl01 (05)	1002,0	1,04	1093,0	1,14	1104,0	1,15	1010,0	1,05
	grt04 (11)-opx01 (14)-pl01 (14)	1014,0	1,08	1106,0	1,18	1114,0	1,19	1011,0	1,07
	grt04 (09)-opx01 (17)-pl01 (05)	1017,0	1,08	1129,0	1,21	1140,0	1,22	1016,0	1,08
	grt04 (09)-opx01 (17)-pl01 (14)	1025,0	1,11	1138,0	1,24	1149,0	1,26	1023,0	1,11
	grt04 (11)-opx01 (17)-pl01 (05)	1017,0	1,07	1128,0	1,20	1138,0	1,21	1016,0	1,07
	grt04 (11)-opx01 (17)-pl01 (14)	1023,0	1,11	1136,0	1,24	1147,0	1,25	1021,0	1,11
	grt04 (09)-opx01 (14)-pl02 (03)	965,0	0,87	1050,0	0,95	1057,0	0,96	962,0	0,87
	grt04 (09)-opx01 (14)-pl02 (14)	1002,0	1,02	1092,0	1,12	1100,0	1,20	999,0	1,02
	grt04 (11)-opx01 (14)-pl02 (03)	960,0	0,86	1044,0	0,93	1052,0	0,94	957,0	0,86
	grt04 (11)-opx01 (14)-pl02 (14)	997,0	1,01	1086,0	1,10	1094,0	1,11	994,0	1,00
	grt04 (09)-opx01 (17)-pl02 (03)	973,0	0,90	1077,0	1,00	1087,0	1,01	972,0	0,90
	grt04 (09)-opx01 (17)-pl02 (14)	1011,0	1,05	1121,0	1,18	1132,0	1,19	1009,0	1,05
	grt04 (11)-opx01 (17)-pl02 (03)	968,0	0,89	1071,0	0,98	1081,0	0,99	967,0	0,89
	grt04 (11)-opx01 (17)-pl02 (14)	1005,0	1,04	1115,0	1,16	1126,0	1,17	1004,0	1,04
	MÉDIA	1000,2	1,01	1099,6	1,12	1108,9	1,14	998,7	1,01
DESVIO	20,9	0,08	27,9	0,10	28,8	0,10	21,2	0,08	
Campo 02	grt04 (09)-opx02 (11)-pl01 (05)	1044,0	1,12	1152,0	1,25	1165,0	1,27	1040,0	1,12
	grt04 (09)-opx02 (11)-pl01 (14)	1054,0	1,16	1163,0	1,30	1176,0	1,31	1050,0	1,16
	grt04 (11)-opx02 (11)-pl01 (05)	1039,0	1,11	1146,0	1,23	1158,0	1,25	1035,0	1,10
	grt04 (11)-opx02 (11)-pl01 (14)	1048,0	1,15	1157,0	1,28	1169,0	1,29	1044,0	1,14
	grt04 (09)-opx02 (13)-pl01 (05)	1055,0	1,10	1122,0	1,18	1130,0	1,19	1051,0	1,10
	grt04 (09)-opx02 (13)-pl01 (14)	1064,0	1,14	1132,0	1,22	1140,0	1,23	1060,0	1,14
	grt04 (11)-opx02 (13)-pl01 (05)	1049,0	1,09	1116,0	1,16	1124,0	1,17	1045,0	1,08
	grt04 (11)-opx02 (13)-pl01 (14)	1059,0	1,13	1126,0	1,20	1134,0	1,21	1055,0	1,12
	grt04 (09)-opx02 (11)-pl02 (03)	1000,0	0,94	1100,0	1,04	1111,0	1,05	996,0	0,94
	grt04 (09)-opx02 (11)-pl02 (14)	1039,0	1,10	1146,0	1,22	1158,0	1,24	1035,0	1,10
	grt04 (11)-opx02 (11)-pl02 (03)	995,0	0,93	1094,0	1,02	1105,0	1,03	991,0	0,92
	grt04 (11)-opx02 (11)-pl02 (14)	1034,0	1,09	1140,0	1,21	1152,0	1,22	1030,0	1,08
	grt04 (09)-opx02 (13)-pl02 (03)	1010,0	0,92	1072,0	0,98	1079,0	0,98	1006,0	0,92
	grt04 (09)-opx02 (13)-pl02 (14)	1050,0	1,08	1116,0	1,15	1123,0	1,16	1046,0	1,08
	grt04 (11)-opx02 (13)-pl02 (03)	1005,0	0,90	1066,0	0,96	1073,0	0,97	1001,0	0,90
	grt04 (11)-opx02 (13)-pl02 (14)	1044,0	1,06	1110,0	1,14	1117,0	1,15	1040,0	1,06
	MÉDIA	1036,8	1,06	1122,4	1,16	1132,1	1,17	1032,8	1,06
DESVIO	22,0	0,09	28,9	0,10	30,6	0,11	22,0	0,09	
Campo 03	grt04 (09)-opx03 (05)-pl01 (05)	1049,0	1,11	1141,0	1,21	1150,0	1,22	1048,0	1,10
	grt04 (09)-opx03 (05)-pl01 (14)	1057,0	1,14	1150,0	1,25	1159,0	1,26	1055,0	1,14
	grt04 (11)-opx03 (05)-pl01 (05)	1055,0	1,09	1135,0	1,19	1144,0	1,20	1042,0	1,09
	grt04 (11)-opx03 (05)-pl01 (14)	1051,0	1,12	1144,0	1,23	1153,0	1,24	1050,0	1,12
	grt04 (09)-opx03 (08)-pl01 (05)	1016,0	1,07	1126,0	1,20	1136,0	1,21	1014,0	1,07
	grt04 (09)-opx03 (08)-pl01 (14)	1023,0	1,10	1134,0	1,23	1144,0	1,24	1022,0	1,10
	grt04 (11)-opx03 (08)-pl01 (05)	1010,0	1,05	1120,0	1,18	1130,0	1,19	1009,0	1,05
	grt04 (11)-opx03 (08)-pl01 (14)	1018,0	1,09	1128,0	1,21	1138,0	1,22	1016,0	1,08
	grt04 (09)-opx03 (05)-pl02 (03)	1003,0	0,92	1088,0	1,00	1096,0	1,01	1002,0	0,92
	grt04 (09)-opx03 (05)-pl02 (14)	1042,0	1,08	1133,0	1,18	1142,0	1,19	1041,0	1,08
grt04 (11)-opx03 (05)-pl02 (03)	998,0	0,90	1082,0	0,98	1090,0	0,99	997,0	0,90	

	grt04 (11)-opx03 (05)-pl02 (14)	1037,0	1,06	1127,0	1,16	1136,0	1,17	1035,0	1,06
	grt04 (09)-opx03 (08)-pl02 (03)	972,0	0,89	1074,0	0,99	1083,0	0,99	971,0	0,89
	grt04 (09)-opx03 (08)-pl02 (14)	1009,0	1,04	1118,0	1,16	1128,0	1,17	1008,0	1,04
	grt04 (11)-opx03 (08)-pl02 (03)	967,0	0,88	1068,0	0,97	1077,0	0,98	966,0	0,88
	grt04 (11)-opx03 (08)-pl02 (14)	1004,0	1,03	1112,0	1,15	1122,0	1,16	1003,0	1,03
	MÉDIA	1019,4	1,03	1117,5	1,14	1126,8	1,15	1017,4	1,03
	DESVIO	27,8	0,09	25,7	0,10	26,0	0,10	26,8	0,09
	Média 01a	1018,8	1,04	1113,1	1,14	1122,6	1,15	1016,3	1,04
	DP 01a	27,9	0,09	29,0	0,10	30,0	0,10	27,1	0,09
Amostra 06sb01b									
	grt01 (23)-opx04 (06)-pl06 (06)	1027,0	1,11	1125,0	1,22	1134,0	1,23	1029,0	1,11
	grt01 (23)-opx04 (06)-pl06 (16)	1021,0	1,08	1119,0	1,19	1128,0	1,20	1023,0	1,08
	grt01 (23)-opx04 (10)-pl06 (06)	1026,0	1,12	1136,0	1,25	1148,0	1,26	1027,0	1,12
Campo 01	grt01 (23)-opx04 (10)-pl06 (16)	1020,0	1,10	1129,0	1,22	1141,0	1,23	1022,0	1,10
	grt01.2 (17)-opx04 (06)-pl06 (06)	1011,0	1,06	1108,0	1,17	1117,0	1,18	1012,0	1,07
	grt01.2 (17)-opx04 (06)-pl06 (16)	1006,0	1,04	1101,0	1,14	1110,0	1,15	1007,0	1,04
	grt01.2 (17)-opx04 (10)-pl06 (06)	1010,0	1,08	1118,0	1,20	1130,0	1,21	1011,0	1,08
	grt01.2 (17)-opx04 (10)-pl06 (16)	1004,0	1,05	1112,0	1,17	1123,0	1,18	1006,0	1,05
	MÉDIA	1015,6	1,08	1118,5	1,19	1128,9	1,21	1017,1	1,08
	DP	9,0	0,03	11,5	0,03	12,4	0,03	9,2	0,03
	grt01 (23)-opx06 (03)-pl06 (06)	1023,0	1,10	1137,0	1,23	1147,0	1,24	1024,0	1,10
Campo 02	grt01 (23)-opx06 (03)-pl06 (16)	1017,0	1,07	1131,0	1,20	1141,0	1,21	1019,0	1,08
	grt01.2 (17)-opx06 (03)-pl06 (06)	1007,0	1,06	1120,0	1,18	1130,0	1,19	1008,0	1,06
	grt01.2 (17)-opx06 (03)-pl06 (16)	1001,0	1,03	1113,0	1,15	1123,0	1,17	1003,0	1,03
	MÉDIA	1012,0	1,06	1125,3	1,19	1135,3	1,20	1013,5	1,07
	DP	9,9	0,03	10,8	0,03	10,8	0,03	9,7	0,03
	Média 01b	1014,4	1,07	1120,8	1,19	1131,0	1,20	1015,9	1,08
	DP 01b	9,0	0,03	11,2	0,03	11,8	0,03	9,1	0,03

APÊNDICE C – TERMOMETRIA OPX - SPR

Dados dos pares de ortopiroxênio₂ - safirina₃, selecionados na amostra 06SB03 e aplicados ao termômetro Opx - Spr de Kawasaki & Sato (2002). X_{Al} em opx = Al (a.p.f.u.)/2. A numeração que acompanha os minerais se refere a adotada para o controle dos grãos durante as análises de química mineral.

Spr	X_{Fe} spr	X_{Mg} spr	Opx	X_{Al} opx	X_{Fe} opx	X_{Mg} opx	K_D	X_{Fe} spr / X_{Fe} opx	X_{Mg} spr / X_{Mg} opx	T_{calc} (°C)
5	0,148	0,852	44	0,176	0,244	0,756	1,864	0,605	1,128	694,6
6	0,148	0,852	44	0,176	0,244	0,756	1,862	0,605	1,128	695,2
7	0,152	0,848	47	0,166	0,246	0,754	1,827	0,616	1,125	707,2
8	0,147	0,853	48	0,184	0,233	0,767	1,756	0,633	1,112	732,9
9	0,139	0,861	41	0,160	0,252	0,748	2,097	0,549	1,152	626,8
9	0,139	0,861	42	0,163	0,249	0,751	2,065	0,556	1,148	635,2
10	0,150	0,850	42	0,160	0,272	0,728	2,116	0,552	1,167	622,1
11	0,143	0,857	48	0,184	0,233	0,767	1,826	0,612	1,118	707,4
12	0,129	0,871	39	0,159	0,241	0,759	2,138	0,537	1,147	616,6
17	0,159	0,841	46	0,152	0,244	0,756	1,704	0,653	1,112	753,5
24	0,157	0,843	52	0,179	0,248	0,752	1,765	0,635	1,120	729,6
24	0,157	0,843	53	0,165	0,253	0,747	1,808	0,624	1,127	713,9
26	0,163	0,837	59	0,172	0,262	0,738	1,818	0,623	1,133	710,3
28	0,152	0,848	55	0,173	0,256	0,744	1,931	0,591	1,141	673,3
29	0,152	0,848	55	0,173	0,256	0,744	1,882	0,591	1,141	688,8
33	0,168	0,832	63	0,175	0,256	0,744	1,705	0,656	1,118	753,0
33	0,168	0,832	66	0,184	0,269	0,731	1,824	0,624	1,138	708,3
33	0,168	0,832	68	0,137	0,259	0,741	1,731	0,648	1,123	742,5
34	0,171	0,829	63	0,175	0,256	0,744	1,663	0,670	1,113	770,7
34	0,171	0,829	66	0,184	0,269	0,731	1,778	0,637	1,133	724,5
34	0,171	0,829	68	0,137	0,259	0,741	1,688	0,662	1,118	759,9
34	0,171	0,829	69	0,160	0,272	0,728	1,806	0,630	1,138	714,6
35	0,160	0,840	66	0,184	0,269	0,731	1,934	0,594	1,149	672,2
35	0,160	0,840	68	0,137	0,259	0,741	1,836	0,617	1,133	703,9
35	0,160	0,840	69	0,160	0,272	0,728	1,964	0,587	1,154	663,3
36	0,167	0,833	69	0,160	0,272	0,728	1,861	0,615	1,144	695,7
38	0,159	0,841	72	0,143	0,267	0,733	1,926	0,596	1,147	674,8
38	0,159	0,841	73	0,182	0,263	0,737	1,891	0,604	1,141	685,9
38	0,159	0,841	75	0,193	0,253	0,747	1,792	0,628	1,126	719,4
39	0,145	0,855	73	0,182	0,263	0,737	2,100	0,552	1,160	626,2
39	0,145	0,855	75	0,193	0,253	0,747	1,991	0,575	1,144	655,6
40	0,171	0,829	71	0,165	0,267	0,733	1,775	0,638	1,132	726,0
43	0,164	0,836	73	0,182	0,263	0,737	1,816	0,625	1,134	711,2
43	0,164	0,836	75	0,193	0,253	0,747	1,721	0,650	1,118	746,5
									T média	698,9
									DP	41,4

ANEXO A – REGRAS DE FORMATAÇÃO DA REVISTA GEOLOGIA USP – SÉRIE CIENTÍFICA



Diretrizes para Autores

1. PÁGINA DE ROSTO – deverá conter: três títulos, em português, em inglês e título curto no idioma principal do manuscrito com no máximo 50 caracteres, contando os espaços; nome completo e instituição de origem dos autores; endereço completo

somente do autor principal (logradouro, CEP, cidade, estado, país, caixa postal e **telefone para contato** - *pode ser o endereço*

da Universidade), **e-mail de todos os autores**; número de palavras; total de figuras e de tabelas.

2. RESUMO E ABSTRACT – em um único parágrafo, **devem ser concisos, com no máximo 270 palavras**. Textos mais longos

devem vir acompanhados de justificativa circunstanciada.

3. PALAVRAS-CHAVE E KEYWORDS – **máximo seis**, separadas por ponto e vírgula, com a primeira letra em maiúscula. Ex.:

Bacia do Araripe; Quaternário; Fácies; Depósitos magmáticos.

Os descritores em inglês devem acompanhar os termos em português.

4. TEXTO PRINCIPAL – poderá ser redigido em português ou inglês. Elaborar em Word, fonte Times New Roman, tamanho 12,

espaço simples. **O tamanho máximo aceito para publicação é de 25 páginas, incluindo: texto, resumo, abstract, tabelas,**

figuras e referências bibliográficas. (Trabalhos mais longos podem ser aceitos desde que argumentos científicos que os justifiquem sejam apresentados e aceitos).

a) Na fase de submissão, inserir numeração de páginas, bem como as figuras, tabelas, legendas e referências.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras, tabelas e legendas devem ser retiradas do texto.

Enviá-las separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras e tabelas.

5. TÍTULOS

a) Título do artigo:

Título principal – **Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.**

Título em inglês – *Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).*

Título curto - Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito /sem itálico).

b) Títulos e subtítulos no interior do artigo:

NÍVEL 1 – **NEGRITO, CAIXA ALTA.**

Nível 2 – **Negrito, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais.**

Nível 3 – Itálico, caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

Nível 4 – Caixa alta na primeira letra da primeira palavra e caixa baixa nas demais (sem negrito).

6. TABELAS E QUADROS – considerar quadro como tabela. Elaborar em Word, no modo “tabela”, com formato aberto, fonte

Arial, tamanho 8. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm,

incluindo a legenda. Tabelas muito extensas deverão ser divididas.

a) Na fase de submissão, inserir as tabelas no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as tabelas devem ser retiradas do texto. Enviá-las

separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das tabelas.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

7. ILUSTRAÇÕES – mapas, fotos, figuras, gráficos, pranchas, fotomicrografias etc., considerar como figuras. Utilizar fonte Arial,

tamanho 9. Obedecer as medidas: 8,2 cm (uma coluna) ou 17 cm (duas colunas), comprimento máximo de 22 cm, incluindo a

legenda.

a) Na fase de submissão, inserir as figuras no texto, juntamente com a legenda, com a devida numeração sequencial.

b) Quando o artigo estiver devidamente aprovado para publicação, as figuras devem ser retiradas do texto. Enviá-las

separadamente e numeradas, cada uma num arquivo. **Deverão estar em formato JPEG, TIFF ou EPS, com resolução**

mínima de 300 dpi. As legendas devem vir em um único arquivo, separadas das figuras.

c) Legendas: fonte Times New Roman, tamanho 12. (sem itálico)

8. CITAÇÕES NO TEXTO – exemplos de citação direta / citação indireta:

a) Um autor

Santos (1980) / (Santos, 1980)

b) Dois autores

Norton e Long (1995) / (Norton e Long, 1980)

c) Mais de dois autores

Moorbath et al. (1992) / (Moorbath et al., 1992)

d) Congressos, conferências, seminários etc.

... no Congresso Brasileiro de Geologia (1984) / (Congresso Brasileiro de Geologia, 1984)

e) Vários trabalhos de diferentes autores

Smith (1985), Rose e Turner (1986) e Johnson et al. (1990) / (Smith, 1985; Rose e Turner, 1986; Johnson et al., 1990)

f) Citação de vários trabalhos de um mesmo autor

Smith (1979a, 1979b, 1981) / (Smith, 1979a, 1979b, 1981)

9. REFERÊNCIAS – listar no final do texto, em ordem alfabética de autores e, dentro dessa sequência, em ordem cronológica.

DOI: inseri-lo em todas as referências que já o tiverem.

A exatidão das referências bibliográficas é de inteira responsabilidade dos autores.

EXEMPLOS DE REFERÊNCIAS:

a) Livro com um autor

Middlemost, E. A. K. (1997). *Magma, rocks and planetary development: A Survey of Magma/Igneous Rock Systems*. Harlow:

Longman.

b) Livro com dois autores

Anderson, M. P., Woessner, W. W. (1992). *Applied groundwater modeling. Simulation of low and advective transport*. San Diego:

Academic Press.

c) Livro com três ou mais autores

Harland, W. B., Armstrong, R. L., Cox, A. L. V., Craig, L. E., Smith, A., Smith, D. (1989). *A geologic time scale* (2 ed.). Cambridge:

Cambridge University Press.

d) Capítulo de livro

nd

Almeida, F. F. M., Amaral, G., Cordani, U. G., Kawashita, K. (1973). The Precambrian evolution of the South American cratonic margin south of Amazonas River. In: A. E. Nairn, F. G. Stille (Eds.), *The ocean basin and margins*, 1, 411-446. New York: Plenum.

(Exemplo de Publicação seriada)

L. Harris, N. , Pearce, J. , Tindle, A. (1986). Geochemical collision-zone magmatism. In: Coward M. P., Ries A. C. (ed.) *Collision tectonics*. 67-81. London: Geological Society. (Geological Society Special Publication, 19).

e) Artigo de periódico

Caffe, P. J., Soler, M. M., Coira, B. L., Cordani, U. G., Onoe, A. T. (2008). The granada ignimbrite: a compound pyroclastic unit and its relationship with upper miocene caldera volcanism in the northern Puna. *Journal of South American Earth Science*, 25(4), 464-484.

f) Trabalho apresentado em evento

Danni, J. C. M., Ribeiro, C. C. (1978). Caracterização estratigráfica da sequência vulcano-sedimentar de Pilar de Goiás e de Guarinos, Goiás. *XXX Congresso Brasileiro de Geologia*, 2, 582-596. Recife: SBG.

g) Mapa

Inda, H. A. W., Barbosa, J. F. (1978). *Mapa Geológico do Estado da Bahia*. Escala 1:1.000.000. Salvador: Secretaria de Minas e Energia do Estado da Bahia/ CBPM.

h) Teses e Dissertações

Petta, A. R. (1995). *Estudo geoquímico e relações petrogenéticas do batólito múltiplo composto São Vicente/ Caicó (RN-Brasil)*.

Tese (Doutorado). Rio Claro: Instituto de Geociências e Ciências Exatas – UNESP.

Pressi, L. F. (2012). *Evolução magmática do Plúton Piracaia (SP): parâmetros físico-químicos e evidências de mistura entre magmas monzodioríticos e sieníticos*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências – USP.

i) Documentos em meio eletrônico

Livro

Sharkov, E. (2012). *Tectonics: Recent Advances*. Croatia: InTech, <<http://www.intechopen.com/books/tectonics-recent-advances>>.

Artigo de periódico

Soares, E. A., Tatumi, S. H. (2010). OSL age determinations of pleistocene fluvial deposits in Central Amazonia. *Anais da*

Academia Brasileira de Ciências, 82(3), 691-699. Acesso em 14 de fevereiro de 2011, <<http://www.scielo.br/pdf/aabc/v82n3/17.pdf>>.

Trabalho apresentado em evento

Souza-Lima, W., Farias, R. M. (2007). A flora quaternária dos travertinos de Itabaiana, Sergipe. *PALEO 2007* (p. 7). Itabaiana:

SBP. Acesso em 18 de dezembro de 2008, <http://www.phoenix.org.br/Paleo2007_Boletim.pdf>.

j) Com numeração DOI

Livro

Zavattini, J. A. (2009). *As chuvas e as massas de ar no estado de Mato Grosso do Sul: estudo geográfico com vista à regionalização climática*.

<https://doi.org/10.7476/9788579830020>.

Artigo de periódico

Evandro, L., Kleina, E. L., Rodrigues, J. B., Lopesa, E. C. S., Gilvana, L. Soledade, G. L. (2012). Diversity of Rhyacian granitoids in the basement of the Neoproterozoic-Early Cambrian Gurupi Belt, northern Brazil: Geochemistry, U–Pb zircon geochronology, and Nd isotope constraints on the Paleoproterozoic magmatic and crustal evolution. *Precambrian Research*, 220-221, 192-216.

<https://doi.org/10.1016/j.precamres.2012.08.007>.

Declaração de Direito Autoral

Autores que publicam nesta revista concordam com os seguintes termos:

1. Autores mantêm os direitos autorais e concedem à revista *Geologia USP. Série Científica*, o direito de primeira

publicação, com o trabalho sob a licença Creative Commons BY-NC-SA (resumo da Licença: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0> | texto completo da licença:

<https://creativecommons.org/licenses/bync-sa/4.0/legalcode>) que permite o compartilhamento do trabalho de forma não comercial e conferindo os devidos

créditos autorais da primeira publicação nesta revista.

2. Autores têm autorização para assumir contratos adicionais separadamente, para distribuição não-exclusiva da versão do

trabalho publicada nesta revista (publicar em repositório institucional ou como capítulo de livro), conferindo os devidos

créditos autorais da primeira publicação nesta revista.

3. Autores têm permissão e são estimulados a publicar e distribuir seu trabalho online (em repositórios institucionais ou na

sua página pessoal) a qualquer ponto antes ou durante o processo editorial, uma vez que isso pode gerar alterações

produtivas, bem como aumentar o impacto e a citação do trabalho publicado (Veja O efeito do Acesso Aberto e

downloads no impacto das citações).

Política de Privacidade

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação,

ANEXO B - COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DO ARTIGO



Daniela Leal Rodrigues <daniellaleal@gmail.com>

[GEOUSP] Agradecimento pela submissão

Daniel Machado via Portal de Revistas da USP <portalderevistas@usp.br>
Responder a: Daniel Machado <publigc@usp.br>
Para: Você Daniela Leal Rodrigues <daniellaleal@gmail.com>

13 de junho de 2020 15:17

Você Daniela Leal Rodrigues,

Agradecemos a submissão do trabalho "Geotermobarometria de safirina e granada granulito do afloramento da Praia da Paciência, Salvador, Bahia – Cinturão Salvador - Esplanada - Boquim" para a revista Geologia USP. Série Científica.
Acompanhe o progresso da sua submissão por meio da interface de administração do sistema, disponível em:

URL da submissão: <https://www.revistas.usp.br/guspsc/authorDashboard/submission/171026>
Login: danielaleal

Em caso de dúvidas, entre em contato via e-mail.

Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de compartilhar seu trabalho.

Daniel Machado