

**EVOLUÇÃO METAMÓRFICA DAS ROCHAS GRANULÍTICAS DO
POVOADO DE PEDRÃO, BLOCO JEQUIÉ, CRÁTON DO SÃO FRANCISCO,
CENTRO-LESTE DO ESTADO DA BAHIA, BRASIL**

*METAMORPHIC EVOLUTION OF THE GRANULITE ROCKS OF PEDRÃO VILLAGE, JEQUIÉ
BLOCK, SÃO FRANCISCO CRATON, EAST CENTRAL OF BAHIA, BRAZIL*

**Maria Clara Martins Cardoso DUARTE, Angela Beatriz de MENEZES LEAL, Johildo
Salomão Figueiredo BARBOSA**

Universidade Federal da Bahia - Instituto de Geociências. Programa de Pós Graduação em Geologia. Núcleo de Geologia Básica.
Rua Barão de Jeremoabo s/n. Federação, Salvador, Bahia, Brasil.

E-mails: mcmcduarte@gmail.com; angelab@ufba.br; johildo.barbosa@gmail.com

Introdução
Geologia regional
Geologia local
Granulitos augen-charnoenderbíticos-charnockíticos
Granulitos heterogêneos paraderivados
Granulitos heterogêneos ortoderivados
Materiais e métodos
Petrografia
Granulitos augen-charnoenderbíticos-charnockíticos
Granulitos heterogêneos paraderivados
Granulitos heterogêneos ortoderivados e enclave máfico
Granulitos heterogêneos ortoderivados
Enclave máfico e contato entre granulito/enclave
Química mineral
Piroxênios
Ortopiroxênio
Clinopiroxênio
Plagioclásio
Anfibólio
Biotita
Evolução metamórfica
Fácies granulito progressiva
Fácies granulito regressiva
Considerações finais
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Os granulitos estudados estão inseridos no Cráton do São Francisco, mais especificamente no Bloco Jequié, de idade arqueana. Foram identificados três litotipos: granulitos augen-charnoenderbítico-charnockíticos, granulitos heterogêneos paraderivados e granulitos heterogêneos ortoderivados, sendo estes últimos o alvo principal do presente estudo, juntamente com enclaves máficos associados a essas rochas. Petrograficamente os granulitos ortoderivados são constituídos por plagioclásio, quartzo, mesoperitita, piroxênios, anfibólio, biotita, mimerquita, apatita, minerais opacos e zircão. Os enclaves máficos são compostos por anfibólio, clino e ortopiroxênio, biotita, feldspatos, quartzo e minerais opacos. O ortopiroxênio foi classificado como ferrossilita, enstatita e na transição ferrossilita/enstatita, o clinopiroxênio como augita e diopsídio (apenas nos enclaves e contato). Os cristais de plagioclásio são de composição andesina, exceto para os enclaves que foram classificados como labradorita/andesina. Os cristais de anfibólio são cálcicos e situam-se no campo da edenita (enclaves e contato) e os de biotita classificados como eastonita. A presença de ortopiroxênio, clinopiroxênio e mesoperitita marcam temperaturas do pico do metamorfismo granulítico. Os cristais de anfibólio e biotita, associados às bordas dos piroxênios caracterizam o metamorfismo regressivo, durante o processo de soergimento orogenético do Bloco Jequié, embora ocorram cristais de anfibólio e biotita (com altos valores de TiO₂) no metamorfismo progressivo granulítico.

Palavras-chave: Granulitos ortoderivados. Enclave máfico. Petrografia. Química mineral. Evolução metamórfica. Bloco Jequié. Cráton do São Francisco.

ABSTRACT - The studied granulites are inserted in the São Francisco Craton, more specifically in the Jequié Archean Block. Three different types of granulites were identified: augen-charnoenderbitic-charnockitic granulites, para-derived heterogeneous granulites and heterogeneous ortoderivatives granulites, the latter being the main target of this study, along with boudinage mafic enclaves associated with these rocks. Petrographically the ortoderivatives granulites are constituted by plagioclase, quartz, mesoperthite, pyroxene, amphibole, biotite, mimerquite, apatite, zircon and opaque minerals. The mafic enclaves are composed of amphibole, clino and orthopyroxene, biotite, feldspar, quartz and opaque minerals. Orthopyroxene were classified as ferrosilite, enstatite and in ferrosilite/enstatite transition, the clinopyroxene as augite and diopside (only in enclaves and contact). The plagioclase crystals are of andesite compositions, except for the enclaves that have been classified as labradorite/andesine. The amphibole crystals are calcic, and are located in the field of edenite (enclaves and contact) and biotite crystals classified as eastonite. The presence of orthopyroxene, clinopyroxene and mesoperthite mark the peak of granulite metamorphism. The amphibole and biotite crystals, associated with the edges of pyroxenes, characterize regressive metamorphism during the orogenic uplift process of Jequié Block, though amphibole and biotite crystals (with high TiO₂ values) occur in the granulite progressive metamorphism.

Keywords: Granulites ortoderivates. Mafic enclave. Petrography. Mineral chemistry. Metamorphic evolution. Jequié Block. São Francisco Craton.

INTRODUÇÃO

Os terrenos granulíticos localizados na porção centro-leste do estado da Bahia representam uma das mais importantes províncias de rochas metamórficas de alto grau aflorantes no mundo e, estão inseridos na denominada região granulítica do sul/sudeste da Bahia (Macedo, 2006). Esta região foi primeiramente metamorfisada na fácies anfíbolito e, posteriormente, durante a colisão paleoproterozoica (2,08 Ga), foi deformada e reequilibrada na fácies granulito.

De acordo com Barbosa & Fontelles (1991), a crosta profunda granulítica, de idade arqueana/paleoproterozoica, vem sendo estudada desde o início da década de 70.

A partir daí, os estudos subsequentes vêm contribuindo bastante para o avanço dos conhecimentos geológicos da região, com a obtenção de significativas informações, principalmente as relacionadas à petrografia e geoquímica destes granulitos, a tectônica que atuou nessas áreas e as idades obtidas através da geocronologia (e.g. Cordani, 1973; Wilson, 1987; Iyer et al., 1995). Porém, quando se trata de metamorfismo, poucas

são as informações existentes.

O primeiro estudo relevante sobre as rochas de alto grau no Estado foi realizado por Barbosa & Fontelles (1986), que através de estudos termodinâmicos de equilíbrio entre fases minerais e cálculos barométricos e termométricos, obteve os primeiros valores quantitativos de pressão e temperatura. Posteriormente, Barbosa (1989, 1991) e Duarte (2015) realizaram trabalhos na região do povoado de Pedrão e outros pesquisadores (e.g., Barbosa & Fontelles, 1991; Leite, 2002; Pinho, 2005; Macedo, 2006; Queiroz 2011, entre outros) realizaram estudos em diferentes porções do Bloco Jequié aprimorando os estudos do metamorfismo e estabelecendo trajetórias P-T-t ao longo do evento metamórfico, utilizando modelos termodinâmicos testados em terrenos granulíticos. No presente trabalho será realizado o estudo geológico, petrográfico, de química mineral e sobre a evolução metamórfica das rochas granulíticas do norte do Bloco Jequié, porção centro-leste do Estado da Bahia, particularmente no povoado de Pedrão.

GEOLOGIA REGIONAL

A área de estudo está inserida na macrounidade geotectônica do Cráton do São Francisco (CSF), que abrange principalmente os estados da Bahia e de Minas Gerais e é a mais bem exposta e estudada unidade tectônica do embasamento da Plataforma Sul-Americana (Barbosa et al., 2003). O embasamento do Cráton do São Francisco é composto por quatro importantes segmentos crustais, de idades Arqueanas, que tiveram origem e evolução distintas, sendo eles: o Bloco Gavião, Bloco Serrinha, Bloco Jequié e o Orógeno Itabuna-Salvador-Curaçá (Barbosa & Sabaté, 2003; 2004).

Pesquisas recentes petrológicas, geocronológicas e isotópicas realizadas nesse embasamento, permitiram identificar seis importantes segmentos crustais, sendo eles: blocos Gavião, Serrinha, Jequié e Uauá, além dos cinturões, Itabuna-Salvador-Curaçá e Salvador-Esplanada (Figura 1) (Barbosa et al., 2012).

De acordo com Barbosa et al. (2012), o bloco mais antigo é denominado de Bloco Gavião, que ocorre tanto na porção oeste-sudoeste quanto na porção noroeste do CSF e é composto principalmente de ortognaisses tonalítico-granodioríticos e associações gnáissico-anfibolíticas, às vezes mig-

matizadas. Estes terrenos preservam remanescentes expressivos da crosta continental com idade máxima de ca. 3,6 Ga (Martin et al., 1991, 1997; Bastos Leal, 1998; Barbosa et al., 2012; Oliveira et al., 2020).

O Bloco Serrinha ocorre na porção nordeste do CSF (Figura 1), sendo composto por ortognaisses e migmatitos com anfíbolitos subordinados, todos arqueanos e metamorfizados na fácies anfíbolito, os quais constituem o embasamento das sequências *greenstone belts* paleoproterozoicas do Rio Itapicuru (Barbosa et al., 2012). Algumas relíquias do embasamento gnáissico dentro da sequência *greenstone* preservam a idade arqueana. As rochas mais antigas deste bloco possuem idades de ca. 3,1-2,8 Ga (Oliveira et al., 1999).

O Bloco Uauá localizado na porção nordeste do estado da Bahia (Figura 1), lado oriental do Bloco Serrinha, é composto por ortognaisses e migmatitos com alguns corpos de granodiorito, segundo Barbosa et al. (2012). Segundo este último autor citado, aparentemente as rochas deste bloco serviram de embasamento para o *Greenstone Belts* do Rio Capim.

Uma das características que torna possível diferenciar o Bloco Serrinha do Bloco Uauá é a

existência, nesse último, de uma malha pronunciada de diques máficos. As rochas do embasamento deste bloco apresentam idades muito antigas de ca. 3,21–2,71 Ga (Paixão & Oliveira, 1998; Oliveira et al., 2003).

O Cinturão Itabuna-Salvador-Curaçá (Figura 1), exposto ao longo da costa atlântica desde sudeste

da Bahia até nordeste, passando pela cidade de Salvador. É formado basicamente por granulitos tonalítico-trondhjemíticos e intrusões de monzonito-monzodioritos, deformados e re-equilibrados na fácies granulito. Enclaves de rochas supracrustais granulitizadas, orientadas paralelamente às deformações também estão presentes.

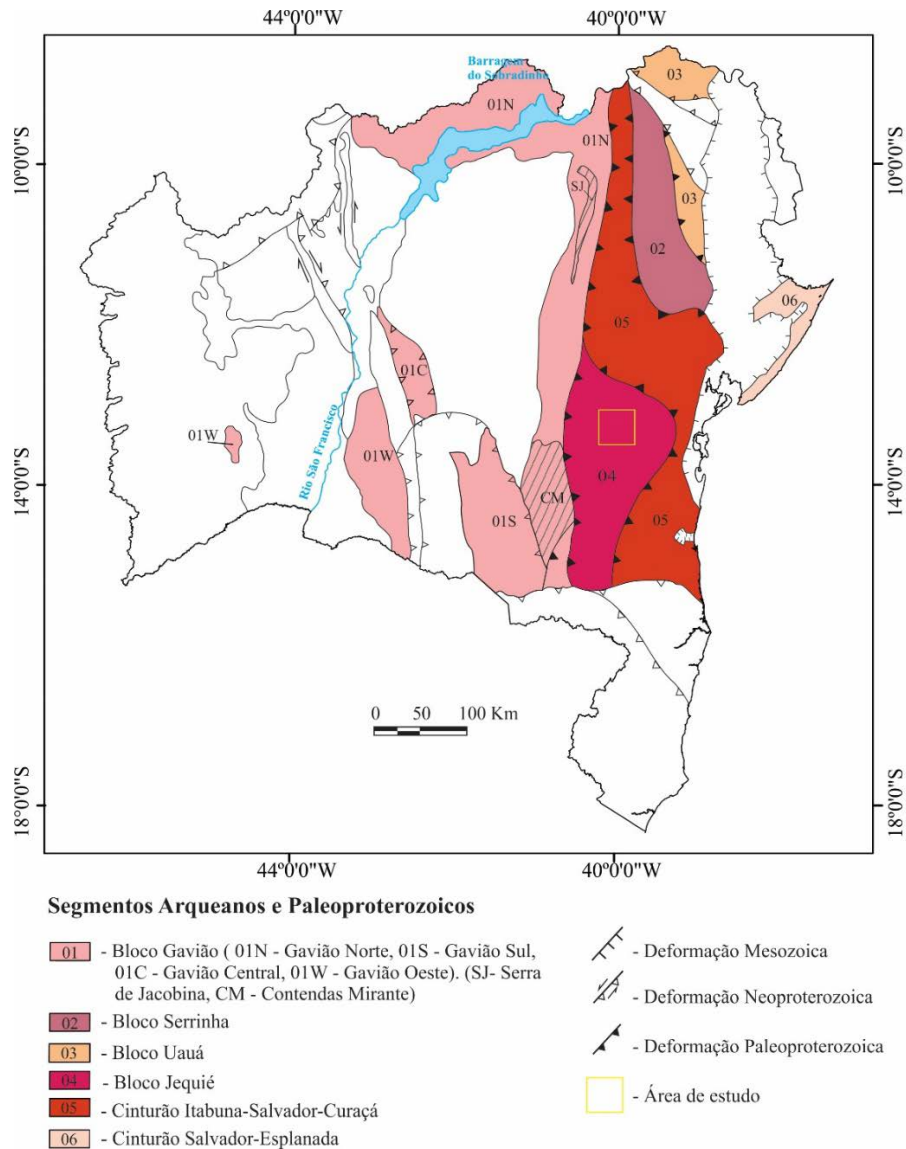


Figura 1 - Mapa simplificado do Estado da Bahia mostrando os domínios tectônicos-geocronológicos arqueanos e paleoproterozoicos. Os traços das estruturas deformacionais paleoproterozoicas, neoproterozoicas e mesozoicas estão também indicados (Barbosa et al., 2012).

O Cinturão Salvador-Esplanaada (Figura 1) está situado a nordeste do CSF no estado da Bahia e, segundo Barbosa et al. (2012), está dividido em dois domínios distintos. O primeiro ocupa a porção extremo oeste do cinturão e é composto pelos milonitos da Zona Aporá-Itamira e pela Suíte granitoide Teotônio-Pela Porco. Já o segundo domínio compreende a Zona denominada de Salvador-Conde, que é composta tanto por rochas da fácies anfíbolito (região do Conde), quanto da fácies granulito (região de Salvador).

Por fim, o Bloco Jequié (Figuras 1 e 2) que

ocorre a SE-SSW do CSF onde está inserida a área de trabalho (Figuras 2 e 3). É composto por granulitos enderbíticos, charnoenderbíticos e charnockíticos de idade 2,7-2,6 Ga (Alibert & Barbosa, 1992), granulitos heterogêneos orto e paraderivados com migmatitos, além de rochas supracrustais subordinadas, sendo estas últimas também granulitizadas, com idade de 3,2Ga (Marinho et al., 1992). Segundo Barbosa et al. (2006), as rochas do Bloco Jequié, originalmente na fácies anfíbolito, foram deformadas e re-equilibradas na fácies granulito durante a colisão paleoproterozoica.

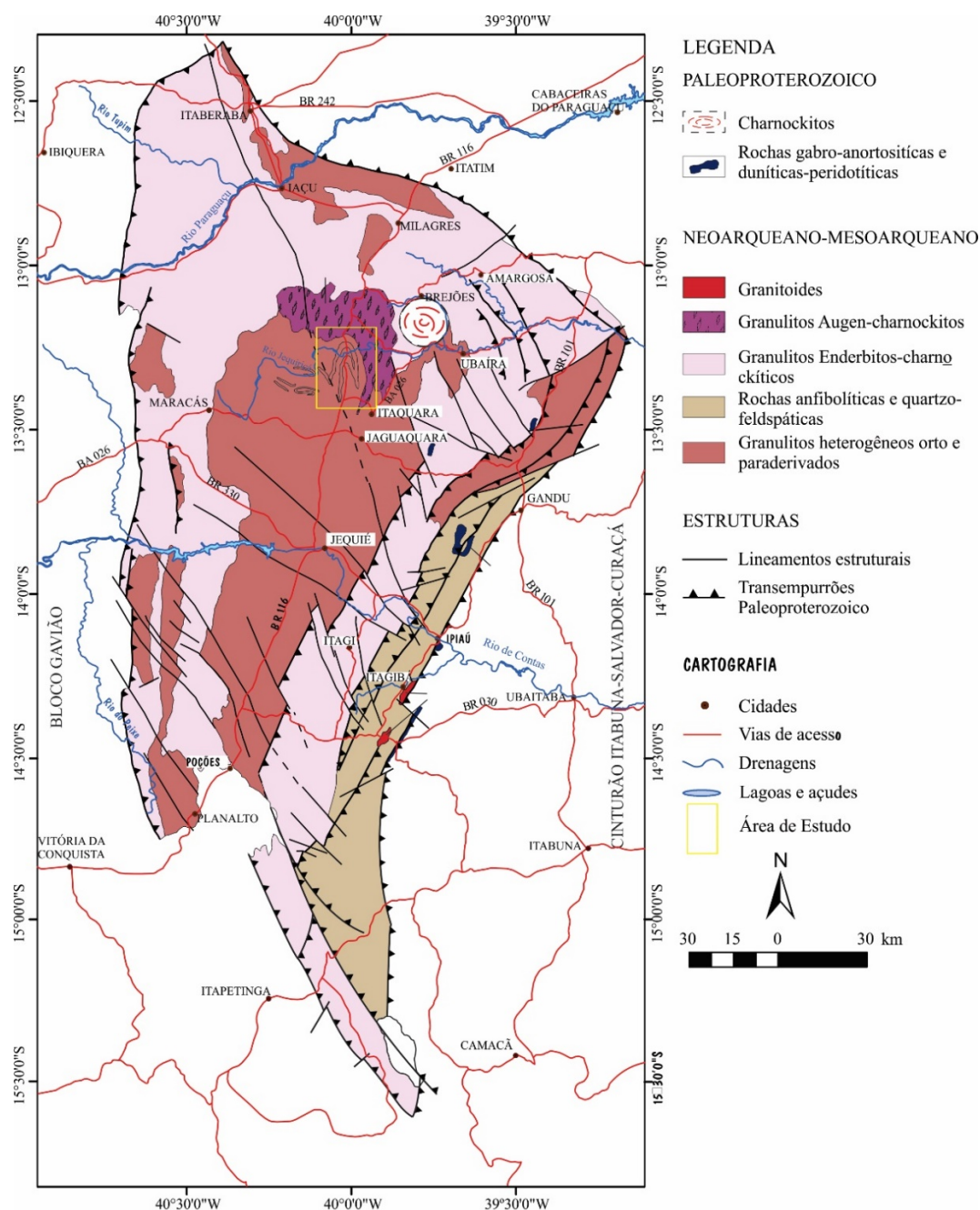


Figura 2 - Mapa geológico do Bloco Jequié mostrando a localização dos granulitos enderbíticos e charnockíticos além de rochas anfibolíticas e quartzo-feldspáticas da Banda de Ipiáú do Neoarqueano-Mesoarqueano. Modificado de Barbosa et al. (2012).

GEOLOGIA LOCAL

Foram identificados através dos trabalhos de campo três litotipos distintos: i) granulitos augen-charnoenderbíticos-charnockíticos; ii) granulitos heterogêneos paraderivados; e iii) granulitos heterogêneos ortoderivados (alvo principal do estudo) (Figura 3).

Granulitos augen-charnoenderbíticos-charnockíticos

As rochas granulíticas augen-chanoenderbíticas-charnockíticas são compostas por quartzo, plagioclásio, biotita, feldspato, piroxênio, anfíbólio e magnetita. Possuem granulometria média a grossa, apresentam-se levemente foliadas e,

apresentam porfiroclastos centimétricos de feldspatos, que estão contornados pela foliação, formando a estrutura *augen*, imersos em uma matriz mais fina, composta pelos minerais existentes na rocha (Figura 4A).

Granulitos heterogêneos paraderivados

Os granulitos heterogêneos paraderivados apresentam granulometria média a grossa e são compostos por quartzo, biotita, plagioclásio, granada, k-feldspato, cordierita e ortopiroxênio, minerais que correspondem a uma paragênese do metamorfismo progressivo na fácies granulito. A cordierita é uma evidência da origem sedimentar-

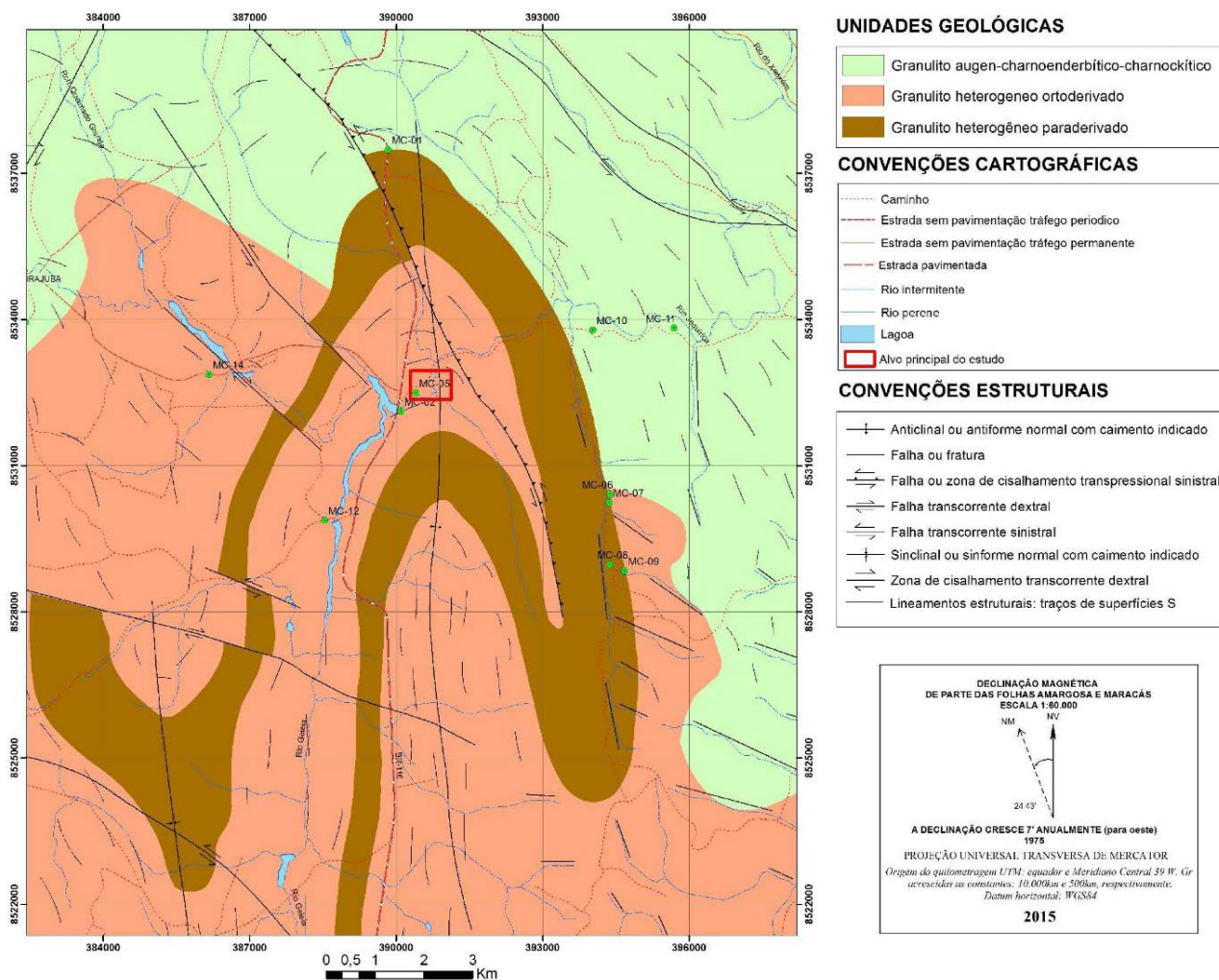


Figura 3 - Mapa geológico simplificado da região de estudo.

aluminosa deste litotipo. Apresenta-se desde isotrópica ou com leve orientação (Figura 4B), a foliada/bandada, estando em certos locais, com intensa migmatização.

Foi observado em campo, na porção central da dobra em laço, um possível aumento da temperatura, no qual estaria transformando parcialmente o paragnaisse granulítico em migmatito.

Nesta mesma região, foi descrito um granito que está em contato transicional com esse paragnaisse intensamente migmatizado que pode ser resultante da fusão parcial deste litotipo, ou seja, um diatexito. Foi observado neste litotipo, devido à ação intempérica, a existência de alteração supergênica, com a presença de manganês (Figura 4C).

Granulitos heterogêneos ortoderivados

O granulito heterogêneo ortoderivado, foco

deste trabalho, é representado pelo afloramento de Pedrão (Figura 4D). São compostos mineralogicamente por quartzo, plagioclásio, k-feldspato, ortopiroxênio, anfibólio e biotita. Apresenta por vezes, megacristais centimétricos de plagioclásio (Figura 4E), com níveis intercalados de rocha anfibolítica, mostrando-se não raramente boudinados e também cortado por falhas com movimento aparente sinistral (Figura 4F).

Este litotipo apresenta diversos níveis de deformação, ou seja, desde isotrópica ou com leve orientação até foliado/bandado, podendo ocorrer também diversas intensidades de migmatização. Ocorre predominantemente com granulometria média, porém pode apresentar granulometria mais grossa bordejando o enclave máfico, resultante da percolação de fluidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Vinte e quatro lâminas delgadas/polidas foram estudadas neste trabalho, onde 6 delas são seções delgadas (confeccionadas no Laboratório da Universidade Federal da Bahia) e 18 são

polidas realizadas no Laboratório da *Université Blaise Pascal em Clermont Ferrand* (França).

As análises da química mineral foram realizadas no Laboratório da *Université Blaise Pascal em*

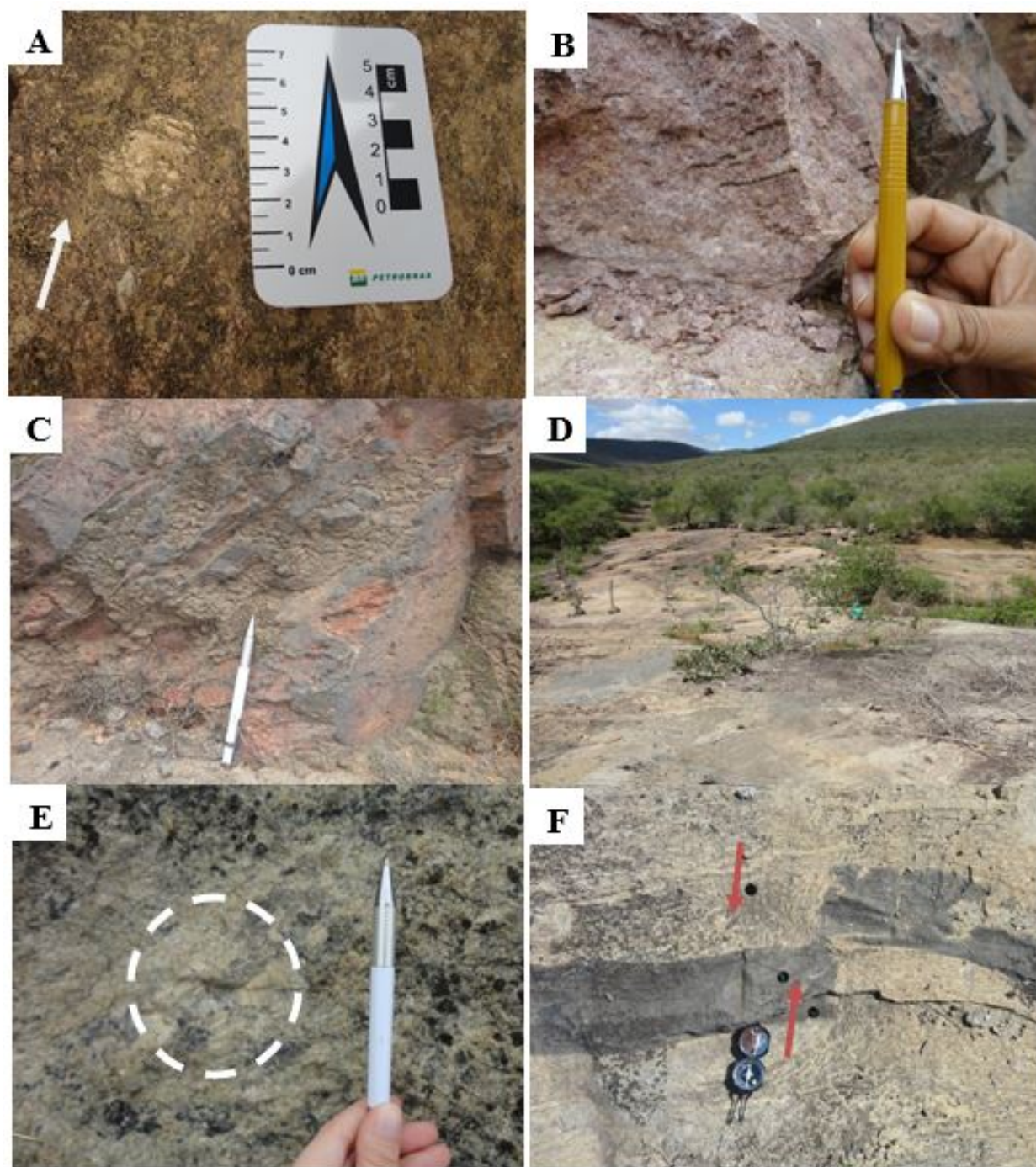


Figura 4 - Fotografias de campo dos litotipos da região. A) Porfiroclasto de feldspato. Ponto MC-01, coordenadas UTM: 388796/8538981. B) Orientação incipiente no granulito paraderivado, localizado as margens da BR-116. Ponto MC-01, coordenadas UTM: 388796/8538981. C) Alteração supergênica com a presença de manganês nos granulitos paraderivados, localizado as margens da BR-116. Ponto MC-01, coordenadas UTM: 388796/8538981. D) Visão geral do granulito ortoderivado sob a forma de lajedo, localizado no povoado de Pedrão. Ponto MC-05, coordenadas UTM: 390357/8532452. E) Megacrystal de plagioclásio imerso em matriz fanerítica média, localizado as margens da BR-116. Ponto: MC-03, coordenadas UTM: 389322/85119507. F) Enclave máfico cortado por falha que o desloca com movimento aparente sinistral, localizado no afloramento de Pedrão. Ponto: MC-05, coordenadas UTM: 390357/8532452.

Clermont Ferrand (França), num total de 96 análises de química mineral, através de microsonda eletrônica do tipo Cameca SX 50.

Analisaram-se cristais de ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio, biotita e anfibólio, onde foram determinados os teores de SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, FeO, Cr₂O₃, MnO, MgO, CaO, K₂O e Na₂O.

A fórmula estrutural dos minerais foi calculada com o auxílio do *software* Minpet (Richard, 1995) para determinar as fases minerais dos piroxênios e dos plagioclásios.

Para o cálculo dos anfibólios foi utilizado o *software* Newamphical (Yavuz, 1998) e, para o cálculo da fórmula estrutural da biotita, utilizou-se o *software* Bioterm (Yavuz & Oztas, 1997).

PETROGRAFIA

Granulitos augen-charnoenderbíticos-charnockíticos

Os granulitos augen-charnoenderbíticos-charnockíticos tiveram seus protólitos constituídos por granito/charnockito a granodiorito/charnoenderbitito (Streckeinsen, 1976).

Apresentam mesopertita, quartzo, plagioclásio, K-feldspato, anfibólio, biotita, ortopiro-

xênio, mimerquita e mineral opaco e, como mineral acessório, o zircão. Microestruturas granoblástica granular e decussada, porfiroblástica, com a presença dos cristais de mesopertita, plagioclásio e quartzo, e poiquiloblástica em peneira (biotita, anfibólio, quartzo e opaco na mesopertita, quartzo e minerais opaco no plagioclásio) (Figuras 5A e B).

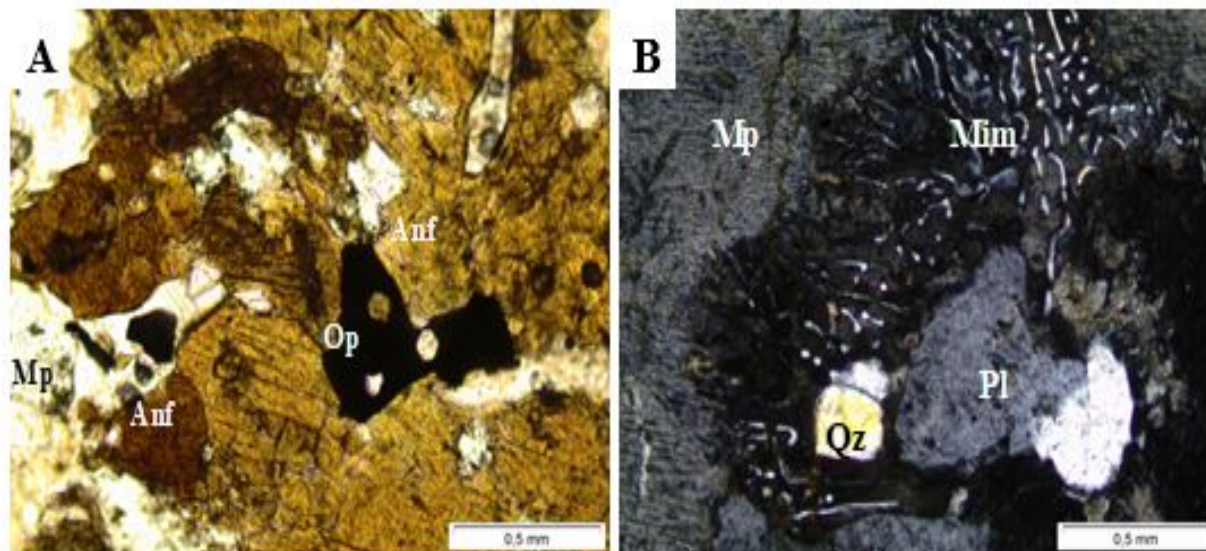


Figura 5 - Fotomicrografias dos granulitos augen-charnoenderbíticos-charnockíticos. **A)** Microestrutura granoblástica granular e decussada, com cristal de anfibólio, com pleocroísmo variando de amarelo/esverdeado a amarronzado. Polarizadores descruzados. **B)** Intercrescimento da mimerquita, associada ao plagioclásio, quartzo e a mesopertita. Polarizadores Cruzados. Mp: Mesopertita; Anf: Anfibólio; Op: Minerais Opacos; Mim: Mimerquita; Pl: Plagioclásio; Qz: Quartzo.

Granulitos heterogêneos paraderivados

Este litotipo é composto mineralogicamente por plagioclásio, quartzo, K-feldspato, mesopertita, mimerquita, cordierita, biotita e mineral opaco.

Apresenta microestruturas granoblástica granular e decussada, porfiroblástica e poiquiloblástica em peneira (quartzo e minerais opacos no plagioclásio e no K-feldspato, zircão no plagioclásio e no quartzo, quartzo na cordierita) (Figuras 6A a D).

Granulitos heterogêneos ortoderivados e enclave máfico

Granulitos heterogêneos ortoderivados

Os granulitos heterogêneos ortoderivados são o principal alvo deste trabalho (Figura 3). A petrografia aliada com o estudo da química mineral foi realizada exclusivamente neste litotipo com o intuito de aprofundar os conhecimentos existentes sobre o metamorfismo que ocorreu nesta região. Este litotipo apresenta enclaves máficos que também foram estudados.

Os granulitos heterogêneos ortoderivados foram classificados como charnockitos a charnoenderbitos (Streckeinsen, 1976), sendo compostos

essencialmente por ortopiroxênio, clinopiroxênio, plagioclásio, biotita, quartzo, anfibólio, K-feldspato, mesopertita e mimerquita. Apresenta ainda clorita, zircão, minerais opacos e apatita como mineral acessório.

Foram observadas as microestruturas granoblástica granular e decussada, com cristais inequigranulares marcados pela existência de porfiroclastos de feldspato, poiquiloblástica em peneira (quartzo incluso no K-feldspato, plagioclásio e minerais opaco e apatita no ortopiroxênio, biotita e quartzo no plagioclásio, minerais opacos na biotita, zircão no plagioclásio).

São observadas coroa de reação, onde o ortopiroxênio está sendo desestabilizado para formar o anfibólio, sendo uma possível evidência do metamorfismo regressivo que atuou regionalmente (Figuras 7A a D).

Enclave máfico e contato entre granulito/enclave

Este litotipo é composto essencialmente por anfibólio, clinopiroxênio, biotita, ortopiroxênio, plagioclásio, quartzo, K-feldspato, mineral opaco e apatita como mineral traço.

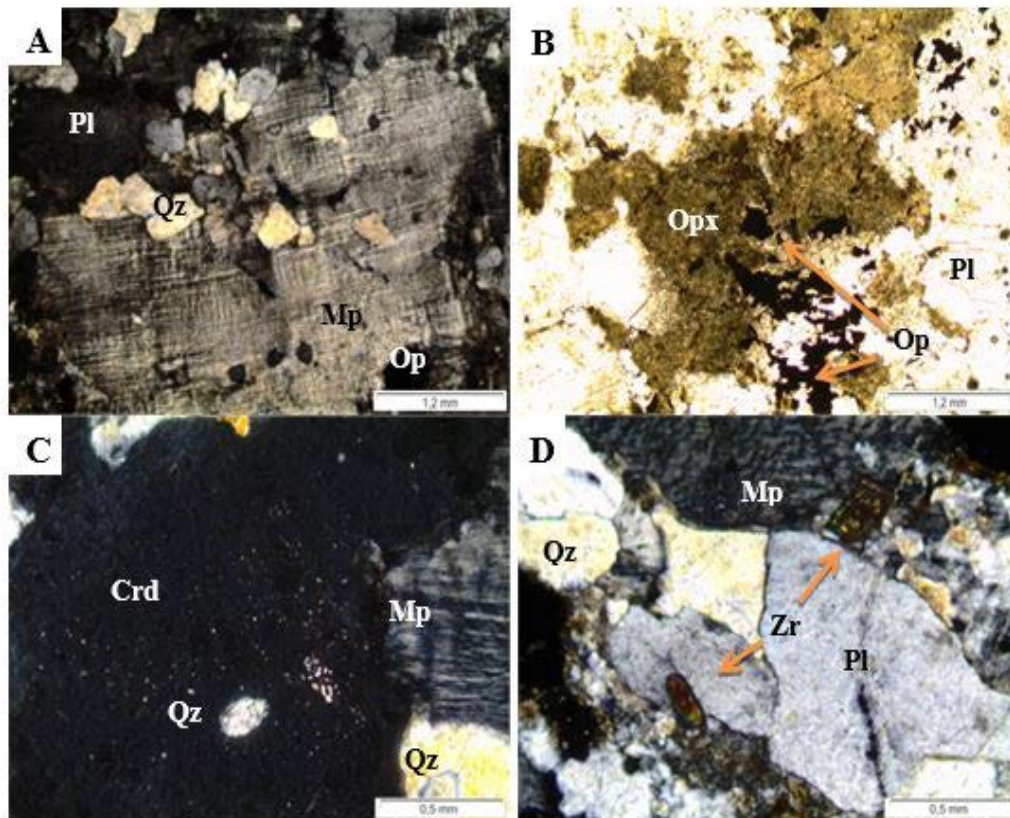


Figura 6 - Fotomicrografias dos granulitos heterogêneos paraderivados. **A)** Mesopertita com inclusões de quartzo, plagioclásio e opaco. **B)** Cristal de ortopiroxênio, alterado, apresentando coloração cinza/acastanhada, associado aos minerais opacos. **C)** Cristal xenoblástico de cordierita, apresentando pinita, formada a partir da destabilização da cordierita. **D)** Detalhe do cristal de zircão. A, C e D polarizadores cruzados. B polarizadores descruzados. Mp: Mesopertita; Op: Minerais Opacos; Pl: Plagioclásio; Qz: Quartzo; Opx: Ortopiroxênio; Crd: Cordierita; Zr: Zircão.

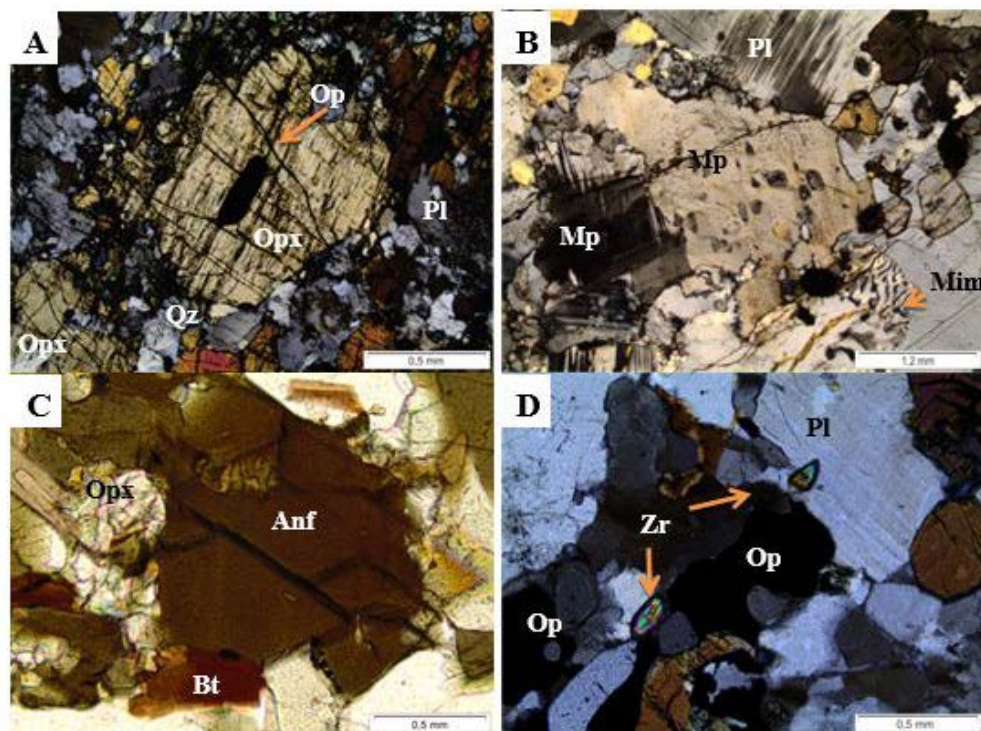


Figura 7 - Fotomicrografias dos granulitos heterogêneos ortoderivados. **A)** Microestruturas granoblástica granular, decussada e poiquiloblástica em peneira, com cristal de ortopiroxênio com inclusão de opaco. **B)** Cristal de mesopertita e mimerquitas. **C)** Cristal de anfibólio apresentando pleocroísmo com tom marrom/esverdeado. **D)** Cristal de zircão incluído no plagioclásio e na mesopertita. A, B e D polarizadores cruzados. C polarizador descruzado. Mp: Mesopertita; Anf: Anfibólio; Bt: Biotita; Op: Minerais Opacos; Mim: Mimerquita; Pl: Plagioclásio; Qz: Quartzo; Opx: Ortopiroxênio; Zr: Zircão.

Apresentam microestruturas granoblástica granular, decussada, lepidoblástica, marcada pela orientação da biotita e nematoblástica, marcada pela orientação dos anfibólios (de forma incipiente),

poiquiloblástica em peneira (minerais opacos inclusos na biotita e no piroxênio, minerais opaco e biotitas inseridos na hornblenda) e coroa de reação do retrometamorfismo (Figuras 8A a D).

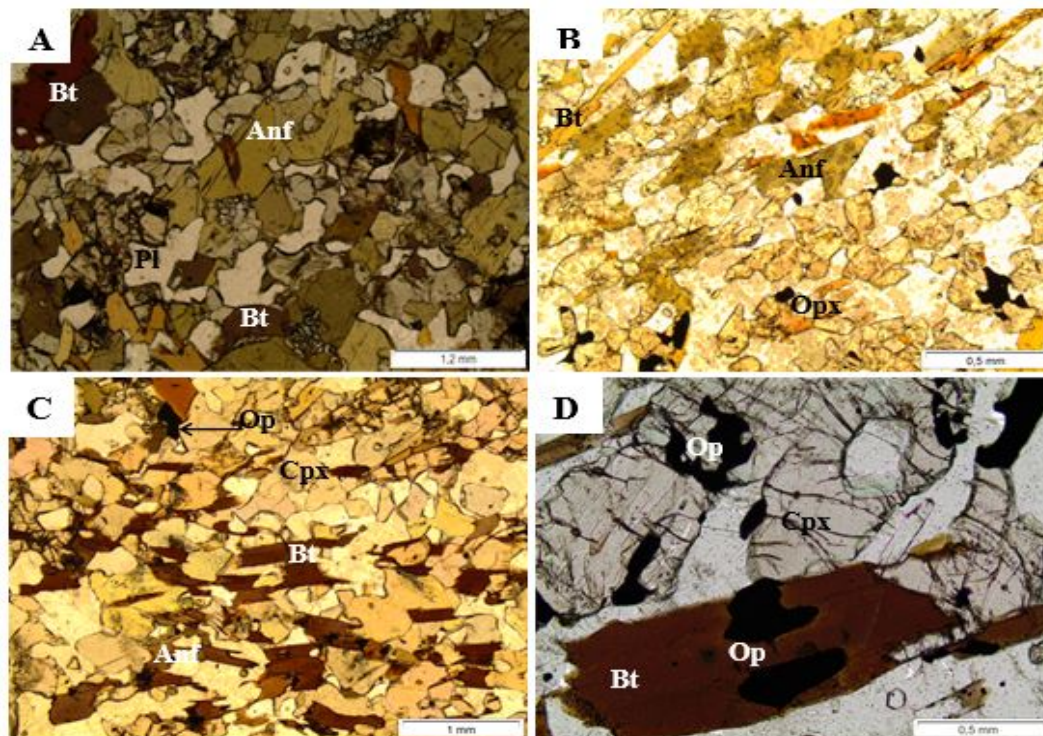


Figura 8 - Fotomicrografias do enclave máfico. **A)** Microestrutura granoblástica granular e decussada. **B)** Microestrutura lepidoblástica, marcada pela orientação das biotitas de maneira incipiente. **C)** Microestruturas lepidoblástica incipiente e poiquiloblástica em peneira, com biotita inclusa no anfibólio, minerais opacos na biotita, biotita no piroxênio. **D)** Microestrutura poiquiloblástica em peneira, apresentando inclusão de minerais opacos na biotita titanífera e no piroxênio. Polarizadores descruzados. Anf: Anfibólio; Op: Minerais Opacos; Cpx: Clinopiroxênio; Opx: Ortopiroxênio; Pl: Plagioclásio; Bt: Biotita.

QUÍMICA MINERAL

Piroxênios

Ortopiroxênio

Foram analisados 26 cristais de ortopiroxênio e a tabela 1 estão os resultados mais representativos. Os ortopiroxênios referentes aos granulitos heterogêneos ortoderivados foram classificados como ferrossilita ($Wo_{0,39-1,88}$ - $En_{47,71-48,74}$ - $Fs_{49,382-50,91}$) (amostras PDR 02, PDR 03A e PDR 03b) e entre ferrossilita e enstatita com composição de membros finais variando de $Wo_{0,33-1,75}$ - $En_{49,005-49,26}$ - $Fs_{49,24-49,42}$ (amostras PDR 10 e PDR 06A).

Nos enclaves máficos verifica-se a presença de enstatita em onze amostras com composição variando de $Wo_{0,9-1,45}$ - $En_{50,64-54,09}$ - $Fs_{45,02-48,08}$, uma amostra classificada como ferrossilita ($Wo_{1,57}$ - $En_{48,9}$ - $Fs_{49,54}$) e três amostras no campo entre ferrossilita/enstatita ($Wo_{0,93-1,56}$ - $En_{49,06-49,34}$ - $Fs_{49,38-49,73}$). Nas amostras do contato entre o granulito e o enclave máfico, os ortopiroxênios foram classificados com enstatita ($Wo_{1,09-1,4}$ - $En_{50,23-51,34}$ - $Fs_{46,7-48,38}$), ferrossilita ($Wo_{1,05-1,64}$ -

$En_{48,71-48,11}$ - $Fs_{50,24-50,25}$) e entre ferrossilita/enstatita ($Wo_{1,27-1,55}$ - $En_{49,29-49,50}$ - $Fs_{49,16-49,47}$). Através da química mineral é possível diferenciar a enstatita da ferrossilita, devido a enstatita possuir valores maiores de MgO e menores de FeO e Al_2O_3 , quando comparado com os valores da ferrossilita (Figura 9A).

Clinopiroxênio

Foram analisadas 12 amostras dos enclaves máficos e duas do contato. A tabela 1 mostra os resultados mais representativos. Os clinopiroxênios dos granulitos heterogêneos ortoderivados não foram analisados. As análises químicas referentes ao clinopiroxênio ao serem plotadas no diagrama triangular Wo- En- Fs (Figura 9B) de Morimoto et al. (1988), mostram que as amostras PDR 04d (contato), PDR 05d e PDR 14d (enclave), situam-se no campo da augita, com as composições dos membros finais variando de $Wo_{28,47-29,26}$ - $En_{41,08-43,46}$ - $Fs_{27,29-30,45}$, enquanto que as frações molares destes piroxênios variam entre X_{Mg} (0,733-0,755). As demais amostras, estão

situadas no campo do diopsídio, apresentando as composições dos membros finais variando de Wo_{45,62}-En_{39,15}-Fs_{17,22} (contato) a Wo_{44,25}-55,01-

En_{44,07}-35,05-Fs_{0,91}-18,05 (enclave) e, as frações molares dos diopsídios variam entre X_{Mg} 0,3 (contato) a 1,0 (enclave).

Tabela 1 - Análises químicas representativas dos ortopiroxênios e clinopiroxênios dos granulitos ortoderivados (G), dos enclaves máficos (E) e contato entre G e E (C). Ferr: Ferrossilita; Trans: Transicional; Enst: Enstatita; Diop: Diopsídio.

| Amostra | Ortopiroxênio | | | | | | | | Clinopiroxênio | | | | | | | |
|--------------------------------|---------------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| | PDR 03b | PDR 10 | PDR 08d | PDR 09a | PDR 18a | PDR 04b | PDR 05b | PDR 07b | PDR 04d | PDR 04e | PDR 05d | PDR 05f | PDR 08e | PDR 14d | PDR 18c | |
| Litotipo | G | G | E | E | E | C | C | C | C | C | E | E | E | E | | |
| SiO ₂ | 50.868 | 50.849 | 51.240 | 51.343 | 51.022 | 50.626 | 50.915 | 51.514 | 43.470 | 52.432 | 44.266 | 51.938 | 51.009 | 42.970 | 50.699 | |
| TiO ₂ | 0.083 | 0.137 | 0.120 | 0.165 | 0.000 | 0.063 | 0.092 | 0.000 | 1.823 | 0.070 | 1.578 | 0.138 | 0.347 | 2.190 | 0.138 | |
| Al ₂ O ₃ | 0.746 | 0.467 | 0.590 | 0.735 | 0.572 | 0.516 | 0.733 | 0.516 | 9.474 | 0.765 | 9.356 | 1.045 | 2.076 | 10.033 | 1.663 | |
| FeO | 29.511 | 29.598 | 29.797 | 29.580 | 28.007 | 29.620 | 27.986 | 29.868 | 14.725 | 10.561 | 14.155 | 10.333 | 11.002 | 15.251 | 10.952 | |
| Cr ₂ O ₃ | 0.048 | 0.050 | 0.035 | 0.085 | 0.042 | 0.060 | 0.020 | 0.003 | 0.525 | 0.042 | 0.132 | 0.121 | 0.153 | 0.300 | 0.257 | |
| MnO | 0.553 | 0.693 | 0.656 | 0.520 | 0.625 | 0.790 | 0.705 | 0.526 | 0.098 | 0.285 | 0.115 | 0.297 | 0.288 | 0.198 | 0.293 | |
| MgO | 16.650 | 16.942 | 16.952 | 16.670 | 19.303 | 16.546 | 17.842 | 17.086 | 12.301 | 13.130 | 12.751 | 13.231 | 11.887 | 11.694 | 13.270 | |
| CaO | 0.893 | 0.635 | 0.444 | 0.743 | 0.445 | 0.498 | 0.716 | 0.620 | 11.554 | 22.433 | 11.945 | 21.984 | 21.833 | 11.275 | 21.644 | |
| Na ₂ O | 1.016 | 0.000 | 0.016 | 0.007 | 0.031 | 0.057 | 0.086 | 0.042 | 1.174 | 0.252 | 1.394 | 0.426 | 0.458 | 1.564 | 0.305 | |
| K ₂ O | 0.136 | 0.000 | 0.041 | 0.033 | 0.012 | 0.005 | 0.004 | 0.000 | 1.651 | 0.013 | 1.299 | 0.019 | 0.008 | 1.635 | 0.007 | |
| Total | 100.524 | 99.366 | 99.959 | 99.249 | 99.937 | 100.505 | 99.412 | 99.100 | 99.227 | 100.729 | 99.984 | 96.990 | 99.580 | 100.399 | 99.198 | |

FÓRMULA ESTRUTURAL NA BASE DE 6 OXIGÊNIOS

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Si | 1,939 | 1,978 | 1,983 | 1,988 | 1,944 | 1,984 | 1,97 | 1,986 | 1,673 | 1,967 | 1,692 | 1,953 | 1,938 | 1,649 | 1,914 |
| AlIV | 0,033 | 0,021 | 0,017 | 0,012 | 0,026 | 0,016 | 0,03 | 0,014 | 0,327 | 0,033 | 0,308 | 0,046 | 0,062 | 0,351 | 0,074 |
| Fe3 | 0,027 | 0 | 0 | 0 | 0,031 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,001 | 0 | 0 | 0,012 |
| AlVI | 0 | 0 | 0,01 | 0,022 | 0 | 0,007 | 0,003 | 0,009 | 0,103 | 0,001 | 0,113 | 0 | 0,031 | 0,103 | 0 |
| Ti | 0,002 | 0,004 | 0,003 | 0,005 | 0 | 0,002 | 0,003 | 0 | 0,053 | 0,002 | 0,045 | 0,004 | 0,01 | 0,063 | 0,004 |
| Cr | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0,003 | 0,001 | 0,002 | 0,001 | 0 | 0,016 | 0,001 | 0,004 | 0,004 | 0,005 | 0,009 | 0,008 |
| Mg | 0,86 | 0,982 | 0,978 | 0,962 | 0,941 | 0,966 | 0,966 | 0,982 | 0,559 | 0,734 | 0,572 | 0,742 | 0,673 | 0,517 | 0,747 |
| Fe2 | 0,778 | 0,95 | 0,957 | 0,95 | 0,803 | 0,948 | 0,877 | 0,954 | 0,204 | 0,07 | 0,186 | 0,073 | 0,068 | 0,182 | 0,092 |
| Mn | 0,018 | 0,023 | 0,022 | 0,017 | 0,02 | 0,026 | 0,023 | 0,017 | 0,003 | 0,009 | 0,004 | 0,009 | 0,009 | 0,006 | 0,009 |
| Ca | 0,036 | 0,026 | 0,018 | 0,031 | 0,018 | 0,021 | 0,03 | 0,026 | 0,477 | 0,902 | 0,489 | 0,886 | 0,889 | 0,464 | 0,876 |
| Na | 0,075 | 0 | 0,001 | 0,001 | 0,002 | 0,004 | 0,006 | 0,003 | 0,088 | 0,018 | 0,103 | 0,031 | 0,034 | 0,116 | 0,022 |
| K | 0,007 | 0 | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0 | 0 | 0 | 0,081 | 0,001 | 0,063 | 0,001 | 0 | 0,08 | 0 |
| Σ cátions | 3,993 | 4 | 3,998 | 3,998 | 3,999 | 4 | 4 | 4 | 3,919 | 3,999 | 3,937 | 3,999 | 4 | 3,92 | 4 |
| WO | 1,879 | 1,327 | 0,929 | 1,566 | 0,896 | 1,054 | 1,493 | 1,288 | 28,712 | 45,623 | 29,258 | 45,148 | 46,268 | 28,467 | 44,273 |
| EN | 48,74 | 49,256 | 49,337 | 48,895 | 54,086 | 48,709 | 51,781 | 49,402 | 42,533 | 37,154 | 43,456 | 37,807 | 35,05 | 41,081 | 37,768 |
| FS | 49,382 | 49,418 | 49,734 | 49,539 | 45,018 | 50,237 | 46,726 | 49,31 | 28,755 | 17,223 | 27,285 | 17,046 | 18,681 | 30,451 | 17,96 |
| XMg | 0,525 | 0,508 | 0,505 | 0,503 | 0,540 | 0,505 | 0,524 | 0,507 | 0,733 | 0,913 | 0,755 | 0,910 | 0,908 | 0,740 | 0,890 |
| XFe | 0,475 | 0,492 | 0,495 | 0,497 | 0,460 | 0,495 | 0,476 | 0,493 | 0,267 | 0,087 | 0,245 | 0,090 | 0,092 | 0,260 | 0,110 |
| Classif. | Ferr | Trans | Trans | Ferr | Enst | Ferr | Enst | Trans | Augita | Diop. | Augita | Diop. | Diop. | Augita | Diop. |

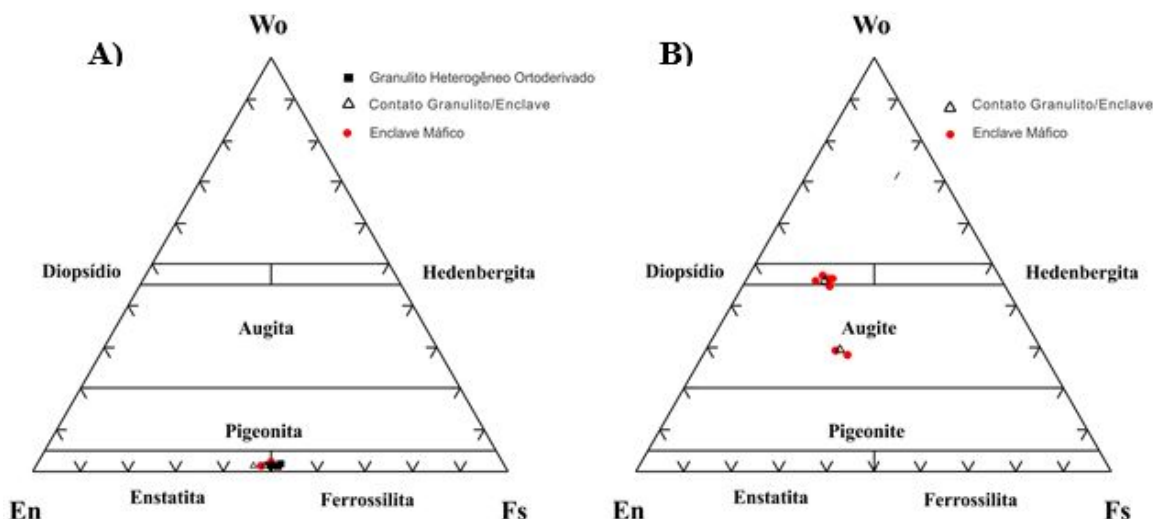


Figura 9 - Classificação dos piroxênios segundo o diagrama ternário En- Wo- Fs (Morimoto et al., 1988) para os granulitos heterogêneos ortoderivados, enclave máfico e contato. **A)** Classificação dos ortopiroxênios. **B)** Classificação dos clinopiroxênios.

Plagioclásio

Foram analisados um total de 22 cristais de plagioclásio e na tabela 2 encontram-se os valores mais representativos. As amostras dos granulitos heterogêneos ortoderivados foram classificadas como andesina, com composição média variando de An_{37,70}-39,15 Ab_{59,99}-61,28 Or

0,86-1,21. Nos enclave máfico apenas uma amostra situa-se no campo da labradorita com composição de An_{51,37} Ab_{47,86} Or_{0,78} (amostra PDR 18a) e aproximadamente na transição andesina/labradorita (amostras PDR 08c e PDR 14b), apresentando composição média de An_{49,817} Ab_{48,866} Or_{1,318}. As outras amostras

analisadas do enclave foram plotadas no campo da andesina, com composição variando de An 48,69-37,81 Ab 50,36-61,44 Or 0,75-1,41.

As amostras do contato entre o granulito e enclave foram classificadas como andesina (An 36,98-39,23 Ab 59,38-68,11 Or 0,54-2,10) (Figura 10).

Tabela 2 - Análises representativas dos cristais de plagioclásio dos granulitos ortoderivado (G), enclave máfico (E) e contato entre G e E (C). And: Andesina; Lab: Labradorita.

| Amostra | PDR 01 | PDR 02 | PDR 04a | PDR 07a | PDR 07b | PDR 08b | PDR 08c | PDR 09b | PDR 10 | PDR 14b | PDR 15a | PDR 18a |
|--|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|
| Litotipo | C | G | C | C | C | E | E | E | G | E | E | E |
| SiO ₂ | 59.068 | 58.424 | 58.430 | 58.758 | 58.445 | 55.833 | 55.878 | 58.300 | 58.736 | 55.549 | 56.146 | 54.849 |
| TiO ₂ | 0.000 | 0.000 | 0.013 | 0.040 | 0.030 | 0.000 | 0.000 | 0.003 | 0.037 | 0.000 | 0.032 | 0.000 |
| Al ₂ O ₃ | 25.912 | 26.229 | 25.745 | 25.432 | 26.186 | 27.210 | 27.695 | 25.760 | 25.927 | 27.686 | 27.053 | 28.296 |
| FeO | 0.094 | 0.113 | 0.122 | 0.069 | 0.130 | 0.093 | 0.642 | 0.103 | 0.187 | 0.513 | 0.136 | 0.274 |
| MnO | 0.003 | 0.046 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.017 | 0.017 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.000 |
| MgO | 0.002 | 0.000 | 0.018 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.005 | 0.007 | 0.000 | 0.000 |
| CaO | 7.803 | 8.293 | 7.788 | 7.869 | 8.244 | 9.607 | 10.271 | 8.091 | 8.133 | 10.357 | 9.707 | 10.550 |
| Na ₂ O | 7.023 | 7.023 | 7.228 | 7.270 | 6.895 | 6.017 | 5.701 | 7.267 | 7.284 | 5.919 | 6.101 | 5.432 |
| K ₂ O | 0.369 | 0.152 | 0.161 | 0.181 | 0.245 | 0.246 | 0.296 | 0.136 | 0.218 | 0.171 | 0.243 | 0.134 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.013 | 0.045 | 0.019 | 0.000 | 0.000 | 0.048 | 0.000 | 0.019 | 0.013 | 0.000 | 0.000 | 0.019 |
| Total | 99.554 | 99.634 | 100.325 | 99.430 | 99.285 | 99.680 | 100.241 | 100.174 | 99.070 | 100.357 | 100.111 | 99.685 |
| FÓRMULA ESTRUTURAL NA BASE DE 8 OXIGÊNIOS | | | | | | | | | | | | |
| Si | 10,533 | 10,433 | 10,504 | 10,551 | 10,447 | 10,139 | 10,045 | 10,477 | 10,473 | 10,018 | 10,164 | 9,936 |
| Al | 5,441 | 5,516 | 5,45 | 5,378 | 5,512 | 5,819 | 5,863 | 5,452 | 5,444 | 5,88 | 5,768 | 6,037 |
| Ti | 0 | 0 | 0,002 | 0,005 | 0,004 | 0 | 0 | 0 | 0,005 | 0 | 0,004 | 0 |
| Fe ₂ | 0,014 | 0,017 | 0,018 | 0,01 | 0,019 | 0,014 | 0,097 | 0,015 | 0,028 | 0,077 | 0,021 | 0,042 |
| Mn | 0 | 0,007 | 0 | 0 | 0 | 0,003 | 0,003 | 0 | 0 | 0 | 0,001 | 0 |
| Mg | 0,001 | 0 | 0,005 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,001 | 0,002 | 0 | 0 |
| Ca | 1,491 | 1,587 | 1,5 | 1,514 | 1,579 | 1,869 | 1,978 | 1,558 | 1,554 | 2,001 | 1,883 | 2,048 |
| Na | 2,428 | 2,432 | 2,519 | 2,531 | 2,39 | 2,119 | 1,987 | 2,532 | 2,518 | 2,07 | 2,142 | 1,908 |
| K | 0,084 | 0,035 | 0,037 | 0,041 | 0,056 | 0,057 | 0,068 | 0,031 | 0,05 | 0,039 | 0,056 | 0,031 |
| Σcátions | 19,992 | 20,027 | 20,035 | 20,03 | 20,007 | 20,02 | 20,041 | 20,065 | 20,073 | 20,087 | 20,039 | 20,002 |
| Ab | 60,65 | 59,99 | 62,11 | 61,94 | 59,38 | 52,39 | 49,27 | 61,44 | 61,09 | 50,36 | 52,49 | 47,86 |
| An | 37,25 | 39,15 | 36,98 | 37,05 | 39,23 | 46,21 | 49,05 | 37,81 | 37,70 | 48,69 | 46,14 | 51,37 |
| Or | 2,10 | 0,86 | 0,91 | 1,00 | 1,39 | 1,41 | 1,69 | 0,75 | 1,21 | 0,95 | 1,37 | 0,78 |
| Classif | And | And | And | And | And | And | And/Lab | And | And | And | And/Lab | And/Lab |

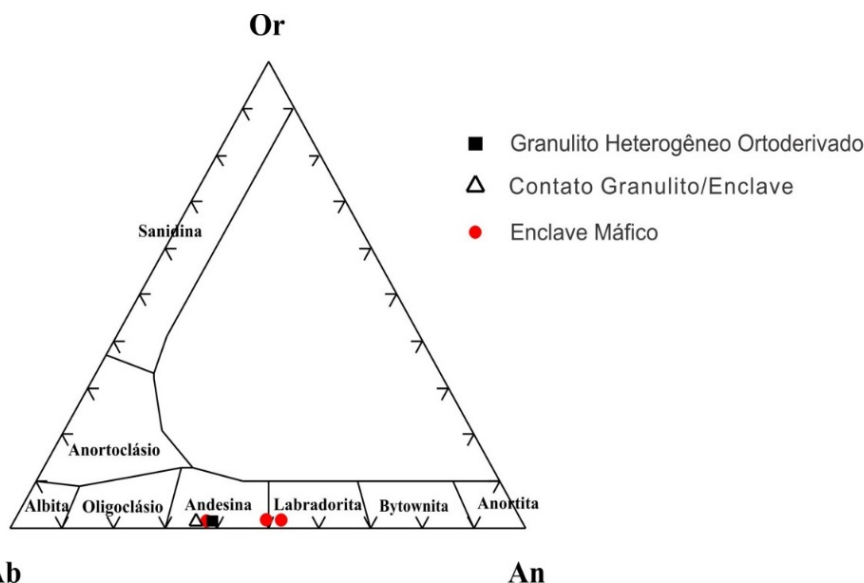


Figura 10 - Classificação dos cristais de plagioclásio dos granulitos heterogêneos ortoderivados, do enclave máfico, e do contato, segundo o diagrama ternário Or- Ab- An (Deer et al., 1993).

Anfibólio

Foram analisados 7 cristais de anfibólio (Tabela 3). Ao serem plotados no diagrama de Leake et al. (1997), as amostras foram situadas no campo da edenita (Figura 11), sendo classificados como anfibólios do grupo cálcio.

Segundo Yavuz & Oztas (1997) o anfibólio do grupo cálcico possui $(Ca)_B \geq 1,5$ $(Na+K)_A \geq 0,5$ e

Ti < 0,5, fato observado a partir dos cálculos obtidos com as fórmulas estruturais onde $(Ca)_b$ varia em torno de 1,84 (contato) a 1,85-1,91 (enclave), as razões $(Na+K)_A$ entre 0,68 (contato) e 0,81 (enclave) e Ti 0,19 a 0,47.

Apresentam os teores de MgO variando entre 11,32 (contato) e 11,70 a 12,47% (enclave), os de Na₂O relativamente baixos, variando entre 1,33

Tabela 3 - Análises representativas dos cristais de anfibólio e de biotita.

| Amostra | Anfibólio | | | | | | | Biotita | | | | | | | | | |
|--|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | PDR 18a | PDR 18b | PDR 04 | PDR 05 | PDR 08a | PDR 08b | PDR 14 | PDR 18 | PDR 01 | PDR 02a | PDR 03 | PDR 04b | PDR 04c | PDR 09 | PDR 14a | PDR 14b | PDR 10 |
| Litotipo | E | E | C | E | E | E | E | E | C | G | G | C | C | E | E | E | G |
| SiO ₂ | 42.93 | 42.78 | 42.96 | 42.77 | 43.67 | 43.90 | 43.94 | 37.96 | 37.11 | 32.58 | 36.83 | 33.68 | 37.71 | 36.08 | 38.14 | 38.02 | 37.47 |
| TiO ₂ | 1.70 | 1.70 | 4.25 | 2.16 | 2.03 | 1.66 | 1.68 | 4.01 | 4.32 | 5.94 | 2.89 | 3.73 | 4.60 | 6.71 | 4.72 | 3.89 | 5.13 |
| Al ₂ O ₃ | 10.45 | 10.23 | 9.94 | 10.10 | 9.85 | 9.74 | 9.27 | 13.01 | 13.51 | 13.77 | 13.86 | 13.69 | 12.63 | 12.37 | 12.89 | 13.15 | 13.15 |
| FeO | 14.51 | 14.66 | 14.47 | 14.50 | 14.85 | 15.16 | 14.49 | 13.39 | 17.57 | 19.39 | 16.76 | 18.97 | 15.41 | 14.69 | 14.10 | 14.06 | 16.66 |
| MnO | 0.07 | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.10 | 0.20 | 0.13 | 0.03 | 0.03 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.09 | 0.07 |
| MgO | 12.47 | 12.40 | 11.32 | 11.71 | 11.70 | 12.04 | 12.47 | 16.27 | 12.84 | 12.12 | 15.32 | 14.74 | 14.28 | 11.76 | 14.86 | 16.56 | 12.95 |
| CaO | 11.57 | 11.55 | 11.52 | 11.40 | 11.64 | 11.61 | 11.86 | 0.14 | 0.21 | 3.69 | 0.19 | 0.03 | 0.22 | 3.04 | 0.04 | 0.14 | 0.07 |
| Na ₂ O | 1.67 | 1.69 | 1.33 | 1.69 | 1.60 | 1.69 | 1.62 | 0.21 | 0.13 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.10 | 0.04 | 0.13 | 0.05 | 0.08 |
| K ₂ O | 1.57 | 1.69 | 1.61 | 1.54 | 1.43 | 1.24 | 1.41 | 9.97 | 9.06 | 3.32 | 8.19 | 5.80 | 9.56 | 8.05 | 9.95 | 9.64 | 9.69 |
| Cr ₂ O ₃ | 0.44 | 0.43 | 0.58 | 0.22 | 0.35 | 0.29 | 0.19 | 0.28 | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.29 | 0.27 | 0.32 | 0.27 | 0.10 |
| Total | 96.94 | 96.87 | 97.55 | 96.04 | 96.86 | 97.25 | 96.89 | 95.26 | 94.77 | 91.00 | 94.17 | 90.77 | 94.82 | 93.06 | 95.20 | 95.87 | 95.36 |
| FÓRMULA ESTRUTURAL NA BASE DE 23 OXIGÊNIOS | | | | | | | | FÓRMULA ESTRUTURAL NA BASE DE 11 OXIGÊNIOS | | | | | | | | | |
| Si | 6.44 | 6.44 | 6.39 | 6.49 | 6.56 | 6.58 | 6.60 | 2.83 | 2.82 | 2.58 | 2.80 | 2.67 | 2.85 | 2.78 | 2.85 | 2.82 | 2.83 |
| Al | 1.84 | 1.81 | 1.74 | 1.81 | 1.75 | 1.72 | 1.65 | 1.14 | 1.18 | 1.28 | 1.20 | 1.28 | 1.12 | 1.12 | 1.14 | 1.15 | 1.17 |
| Ca | 1.86 | 1.86 | 1.84 | 1.85 | 1.87 | 1.86 | 1.91 | 0.01 | 0.02 | 0.31 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.25 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| Mg | 2.79 | 2.78 | 2.51 | 2.65 | 2.62 | 2.69 | 2.79 | 1.81 | 1.46 | 1.43 | 1.73 | 1.74 | 1.61 | 1.35 | 1.66 | 1.83 | 1.46 |
| Mn | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Fe | 1.82 | 1.84 | 1.80 | 1.84 | 1.87 | 1.90 | 1.82 | 0.83 | 1.11 | 1.29 | 1.06 | 1.26 | 0.98 | 0.95 | 0.89 | 0.87 | 1.05 |
| Ti | 0.19 | 0.19 | 0.47 | 0.25 | 0.23 | 0.19 | 0.19 | 0.23 | 0.25 | 0.35 | 0.16 | 0.22 | 0.26 | 0.39 | 0.27 | 0.22 | 0.29 |
| Na | 0.49 | 0.49 | 0.38 | 0.50 | 0.47 | 0.49 | 0.47 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| K | 0.30 | 0.32 | 0.30 | 0.30 | 0.27 | 0.24 | 0.27 | 0.95 | 0.88 | 0.34 | 0.79 | 0.59 | 0.92 | 0.79 | 0.95 | 0.91 | 0.93 |
| Cr | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| Al iv | 1.56 | 1.56 | 1.61 | 1.51 | 1.44 | 1.42 | 1.40 | 1.14 | 1.18 | 1.28 | 1.20 | 1.28 | 1.12 | 1.12 | 1.14 | 1.15 | 1.17 |
| Al vi | 0.28 | 0.25 | 0.13 | 0.30 | 0.31 | 0.30 | 0.25 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Fe ²⁺ | 1.76 | 1.78 | 1.69 | 1.84 | 1.87 | 1.90 | 1.82 | 0.57 | 0.80 | 0.41 | 0.56 | 0.08 | 0.69 | 0.95 | 0.64 | 0.49 | 0.74 |
| Fe ³⁺ | 0.06 | 0.06 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.26 | 0.31 | 0.88 | 0.50 | 1.18 | 0.29 | 0.00 | 0.25 | 0.38 | 0.31 |
| XMg(Fe+) | 0.61 | 0.61 | 0.60 | 0.59 | 0.58 | 0.59 | 0.61 | 0.76 | 0.65 | 0.78 | 0.76 | 0.96 | 0.70 | 0.59 | 0.72 | 0.79 | 0.66 |
| Classif. | Edenita | Edenita | Edenita | Edenita | Edenita | Edenita | Edenita | Eastonita | Eastonita | Eastonita | Eastonita | Eastonita | Eastonita | Eastonita | Eastonita | Eastonita | Eastonita |

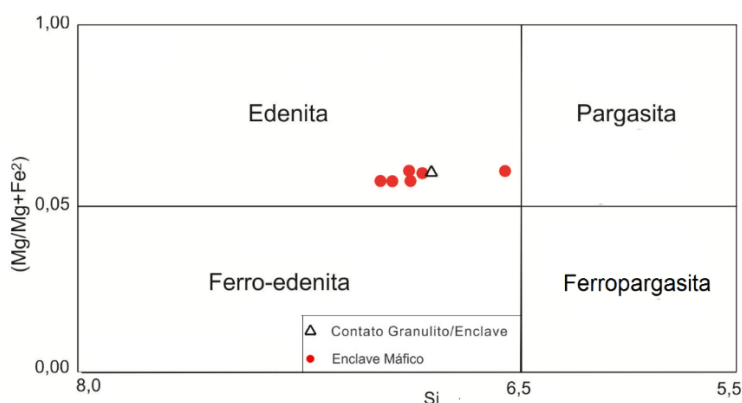


Figura 11 - Classificação dos anfibólios do enclave máfico e do contato, segundo Leake et al. (1997).

(contato) e 1,6 a 1,69% (enclave) e, os de CaO variando de 11,52 (contato) e 11,40 a 11,86% (enclave).

Conforme Raase (1974), o conteúdo de Ti no sítio "C" da estrutura em anfibólios da fácies granulito retrógrado varia de 0,19 a 0,23, valores estes compatíveis aos valores encontrados nos anfibólios das amostras PDR 18a e b, PDR 05, PDR 08a e b e PDR 14 (enclave máfico).

No entanto, a amostra PDR 04 (contato) possui valores de 0,47 sugerindo assim, que foi gerada em uma fase do pico metamórfico granulítico.

Segundo Pinho (2005), para que os anfibólios sejam considerados cristalizados sob as condições regressivas, precisam apresentar baixos valores de TiO₂, fato este que foi observado, com os teores variando em torno de

1,66 a 2,16% (Tabela 3), a exceção de apenas uma amostra que apresentou valores de 4.25% (amostra PRD 04).

Biotita

Os resultados das análises representativas dos 16 cristais de biotita (Tabela 3) ao serem plotados no diagrama binário Al (IV) *versus* X_{Fe} (Figura 12) (Deer et al., 1992), todas as amostras situam-se no campo da eastonita.

Os valores de Al (IV) variam de 1,17 a 1,28 (granulitos), de 1,12 a 1,14 (enclave) e de 1,12 a 1,28 (contato) e a X_{Fe} varia de 0,38 a 0,47 (granulitos), de 0,32 a 0,41 (enclave) e 0,38 a

0,93 (contato).

Todos os cristais de biotita analisados apresentam altos valores de TiO₂ (3,73 a 5,94% nos granulitos, 3,89 a 6,71% nos enclaves e 3,73 a 4,60% no contato) e altas razões para X_{Mg} (0,66 a ,078 nos granulitos, 0,59 a 0,79 no enclave e 0,65 a 0,96 no contato) (Figura 12).

Segundo Dooley & Patino Douce (1996), segundo Pinho (2005), estas feições observadas são típicas de cristalização ocorrida em fácies granulito, embora ocorram biotitas com valores de TiO₂ mais baixos caracterizando uma fase retrógrada.

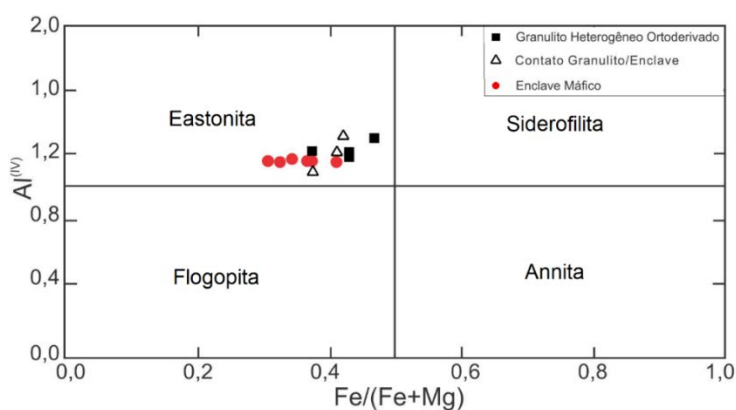


Figura 12 - Classificação das micas dos granulitos heterogêneos ortoderivados, do enclave máfico e do contato, segundo o diagrama binário Al (IV) *versus* Fe/(Fe+Mg) (Deer et al., 1963).

EVOLUÇÃO METAMÓRFICA

A partir do estudo petrográfico aliado ao estudo do quimismo das principais fases minerais (piroxênios, plagioclásio, anfibólio e biotita), foi possível elaborar uma breve discussão sobre a evolução metamórfica das rochas granulítica ortoderivadas e do enclave máfico com base nos aspectos microestruturais (relações de contatos, feições de recristalização e/ou cristalização) e nas associações mineralógicas observadas (paragêneses minerais ou reações minerais evidentes).

A partir destes estudos foi possível identificar que os granulitos heterogêneos ortoderivados são caracterizados como rochas de alto grau com reações progressivas e regressivas.

Fácies Granulito Progressiva

Foram identificadas associações minerais que indicam progressão das condições metamórficas em direção à fácies granulito, observadas na figura 13.

As reações 1, 2 e 3, identificadas nas lâminas estudadas, todas com perda de H₂O, são reações que correspondem à desidratação das rochas na fácies granulito pelo aumento progressivo da temperatura e pressão do metamorfismo.

Hbl + Pl <=> Opx + Op (reação 1, Figura 13A)

Hbl + Pl + Qz <=> Cpx (reação 2, Figura 13B)

Hbl + Qz <=> Opx + Cpx + Pl (reação 3, Figura 13C)

A coexistência de anfibólio rico em titânio (Amostra PRD 04) e anfibólios com pleocroísmo variando de tons marrons, associado às paragêneses metamórficas com contatos poligonais compostas de plagioclásio + quartzo + piroxênio, identificadas nestas rochas mostram condições em equilíbrio e formadas no pico do metamorfismo granulítico.

Fácies Granulito Regressiva

Transformações metamórficas regressivas, as quais transformam parcialmente ou totalmente paragêneses da fácies granulito em paragêneses da fácies anfibolito, são identificadas nas rochas granulíticas da região do Povoado de Pedrão. As reações metamórficas indicativas de transformações mineralógicas podem ter ocorrido estaticamente ou podem ter sido dinâmicas, ao mesmo tempo que às deformações tectônicas tardias que atuaram na área. As reações 4 e 5 identificadas nos litotipos estudados demonstram a transição de fácies granulito para fácies anfibolito, caracterizando metamorfismo retrógrado.

$\text{Opx} + \text{Cpx} + \text{Pl} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Hbl} + \text{Qz}$ (reação 4, Figura 13D)

$\text{Opx} + \text{K}_2\text{O} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Bt} + \text{Qz}$ (reação 5, Figura 13E).

As reações demonstram que durante o cisalhamento dúctil houve elevação de blocos de granu-

litos para porções mais superficiais da crosta e introdução de fluidos ricos em água através das zonas de cisalhamento. Microfraturas nos piroxênios e nos feldspatos preenchidas por anfibólio e biotita também corroboram as evidências encontradas de penetração de fluido na rocha.

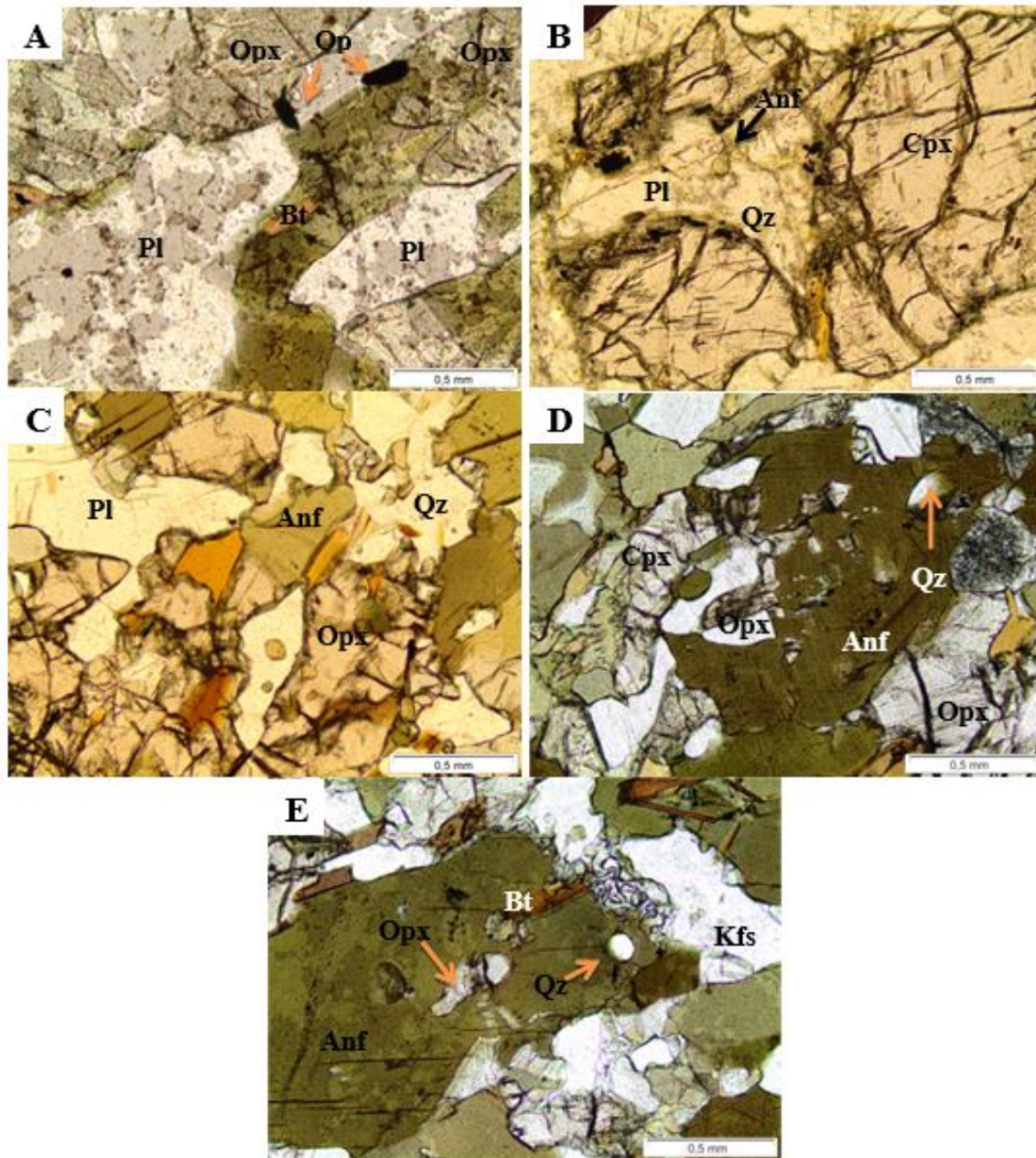


Figura 13 - Fotomicrografias com reações progressivas e regressivas dos granulitos heterogêneos ortoderivados. A) Reação metamórfica progressiva onde o anfibólio associado ao plagioclásio reage, originando a paragênese ortopiroxênio+mineral opaco. Polarizadores descruzados. B) Reação metamórfica entre o anfibólio, quartzo e plagioclásio, originando o clinopiroxênio. C) Reação metamórfica progressiva entre o anfibólio e o quartzo, originando a paragênese formada pelo Opx, Cpx e Pl. D) Reação metamórfica regressiva gerando a paragênese de anfibólio+quartzo. E) Reação metamórfica regressiva originando a paragênese formada pela biotita+quartzo, tendo feldspato alcalino intersticial. Anf: Anfibólio; Op: Minerais Opacos; Pl: Plagioclásio; Qz: Quartzo; Opx: Ortopiroxênio; Cpx: Clinopiroxênio; Bt: Biotita; Kfs: Feldspato alcalino.

Adicionalmente as reações metamórficas observadas, o pleocroísmo dos anfibólios variando em tons esverdeados associados aos cristais de piroxênios substituindo-os parcial ou totalmente,

como também o desenvolvimento de feldspato alcalino intersticial corrobora para a presença de deformações relacionadas ao metamorfismo retrógrado na região estudada

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com os trabalhos de campo, associado com as reações metamórficas observadas no estudo petrográfico e o quimismo mineral das rochas granulíticas heterogêneas ortoderivadas e dos enclaves máficos associados, podemos sugerir para a região do Pedrão, porção norte do Bloco Jequié, a seguinte história de evolução metamórfica:

A encaixante destes enclaves boudinados eram granitos a monzogranitos, que foram metamorfisados na fácies granulito, originando os granulitos heterogêneos ortoderivados (granulitos charnoenderbíticos a charnockíticos) com paragênese associada ao pico do metamorfismo ($Hbl+Qz \rightarrow Opx+Cpx+Plg+H_2O$). A presença de ortopiroxênio, clinopiroxênio e mesopertita indica que as temperaturas do metamorfismo granulítico foram atingidas;

Os enclaves máficos (provavelmente antigos basaltos) ao serem metamorfisados na fácies granulito, geraram granulitos básicos com paragênese constituída por ortopiroxênio+clinopiroxênio, caracterizando o metamorfismo regional progressivo ($Hbl+Qz \rightarrow Opx+Cpx+Plg+H_2O$). O

contato entre o enclave máfico e a encaixante granulítica (charnoenderbitos/ charnockíticos) é marcado por uma aureola constituída por formação de ortopiroxênio. No estudo petrográfico foi observado que a quantidade de ortopiroxênio aumenta do enclave máfico em direção a este contato.

Posteriormente, houve um processo de soerguimento orogenético do Bloco Jequié, no qual as rochas sofreram resfriamento (processo de descompressão) reequilibrando rochas da fácies granulito para fácies anfíbolito, caracterizando o metamorfismo regional regressivo. Este processo é marcado pela presença de anfíbólio e biotita nas bordas dos piroxênios e presença de microclínio intersticial.

Foram observadas feições que caracterizam deformações rúpteis associadas a essas rochas estudadas, como microfraturamento dos cristais de piroxênios, plagioclásio, mesopertita e quartzo, extinção fortemente ondulante dos cristais de quartzo, geminação incompleta ou ausente nos plagioclásios e geminação em cunha destes minerais.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação de Geologia do Instituto de Geociências- Universidade Federal da Bahia e ao Projeto CAPES-COFECUB, pelo aporte de recursos para a realização dos trabalhos de campo. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico (CNPq) pela concessão da bolsa de Mestrado para a primeira autora. Aos revisores deste manuscrito.

REFERÊNCIAS

- ALIBERT, C. & BARBOSA, J.S.F. Ages U-Pb déterminés à la "SHRIMP" sur des zircons du Complexe de Jequié, Craton du São Francisco, Bahia, Brésil. In: **14 Réunion Science de la Terre**, p. 4. Toulouse: Societe Geologique de France, 1992.
- BARBOSA, J.S.F. & FONTEILLES, M. Caracterização dos protólitos da região granulítica do Sul da Bahia - Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 18, n. 2, p. 162-169, 1989.
- BARBOSA, J.S.F. & FONTEILLES, M. Examen critique des resultats fournis par certains barometres couramment utilisés en terrains granulitiques. Exemples des granulites de Bahia (Brésil) et du Massif de l'Agly (France). **Bulletin Mineral**, v. 109, p. 359-376, 1986.
- BARBOSA, J.S.F. & FONTEILLES, M. O Metamorfismo da Região Granulítica do Sul da Bahia – Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 21, p. 6-13, 1991.
- BARBOSA, J.S.F. & SABATÉ, P. Archean and Paleoproterozoic Crust of the São Francisco Cráton, Bahia, Brazil: geodynamic features. **Precambrian Research**, v. 133, p. 1-27, 2004.
- BARBOSA, J.S.F. & SABATÉ, P. Colagem paleoproterozóica de placas arqueanas do Cráton do São Francisco na Bahia. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 1, p.7-14, 2003.
- BARBOSA, J.S.F. **Projeto Geologia e Metalogenia do Domínio da Costa Atlântica da Região Granulítica do Sul da Bahia**. Relatório Final. Salvador: SME/SGM/UFBA, 1991.
- BARBOSA, J.S.F. Química mineral utilizada na identificação das fácies metamórficas da região granulítica do sul da Bahia, Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 19, n. 3, p. 350-366, 1989.
- BARBOSA, J.S.F.; CRUZ, S.S.P.; SOUZA, J.S. Terrenos Metamórficos do Embasamento. In: BARBOSA, J.S.F. (Coordenação Geral). **Geologia da Bahia. Pesquisa e Atualização**, Salvador, v. 1, p. 101-201, 2012.
- BARBOSA, J.S.F.; NICOLLET, C.; LEITE, C.; KIENAST, J.; FUCK, R.A.; MACEDO, E.P. Hercynite-quartz-bearing granulites from Brejões Dome Area, Jequié Block, Bahia, Brazil: Influence of charcockite intrusion on granulite facies metamorphism. **Lithos**, v. 92, n. 3-4, p. 537-556, 2006.
- BARBOSA, J.S.F.; SABATÉ, P.; MARINHO, M.M. O Cráton do São Francisco na Bahia: Uma Síntese. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n.1, p.3-6, 2003.
- BASTOS LEAL, L.R. **Geocronologia U/Pb (SHRIMP), 207Pb/206Pb, Rb/Sr, Sm/Nd e K/Ar dos terrenos granito-greenstone do Bloco do Gavião: implicações para a evolução arqueana e paleoproterozóica do Cráton do São Francisco, Brasil**. São Paulo. 1998. 178 p. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CORDANI, U.G. **Evolução geológica pré-cambriana da faixa costeira do Brasil, entre Salvador e Vitória**. São Paulo. 1973. 107p. Tese (Livre Docência). Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. **Rock forming minerals**. Londres, Longman, 558 p., 1963.
- DOOLEY, D.F.; PATIÑO DOUCE, A.E. Fluid-absent melting of F-rich phlogopite + rutile + quartz. **American Mineral**, v. 81, p. 202-212, 1996.
- DUARTE, M.C.M.C. **Petrografia, Litogeoquímica, Química Mineral e Evolução Metamórfica das Rochas Granulíticas do Povoado de Pedrão, Centro-Leste do Estado da Bahia**. São Paulo, UNESP, *Geociências*, v. 40, n. 4, p. 823 - 838, 2021

- Salvador. 2015. 131 p. Dissertação (Mestrado em Geologia). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- IYER, H.A.V.; BARBOSA, J.S.F.; CHOUDHURI, A.; KROUSE, H.S. Possibles sources of CO₂ in granulite facies rocks: carbon isotope evidence from the Jequié Complex, Brazil. **Petrology**, v. 3, p. 226-237, 1995.
- LEAKE, B.E.; WOOLEY, A.R.; ARPS, C.E.S.; BIRCH, W.D.; GILBERT, M.C.; GRICE, J.D.; HAWTHORNE, F.C.; KATO, A.; KISCH, H.J.; KRIVOVICHEV, V.G.; LINTHOUT, K.; LAIRD, J.; MANDARINO, J.A.; MARESCH, W.V.; NICKEL, E.H.; ROCK, N.M.S.; SCHUMACHER, J.C.; SMITH, D.C.; STEPHENSON, N.C.N.; UNGARETTI, L.; WHITTAKER, E.J.W.; YOZHI, G. Nomenclature of amphiboles: Report of Subcommittee on Amphiboles of the International Mineralogical Association. Commission on New Minerals and Mineral Name. **American Mineralogist**, v. 82, p. 1019-1037, 1997.
- LEITE, C.M.M. A evolução geodinâmica da orogênese paleoproterozóica nas regiões de Capim Grosso - Jacobina e Pintadas - Mundo Novo (Bahia, Brasil): **Metamorfismo, Anatexia Crustal e Tectônica**. Salvador. 2002. 412p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- MACEDO, E.P. **Petrografia, Litogeoquímica, Metamorfismo e Evolução Geotectônica dos Granulitos das Regiões de Amargosa, Brejões, Santa Inês, Jaguaquara e Itamarí, Bahia, Brasil**. Salvador. 2006. 305p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- MARINHO, M. M.; VIDAL, PH.; ALIBERT, C.; BARBOSA, J. S.F.; SABATÉ, P. Geochronology of the Jequié-Itabuna granulitic belt and the Contendas-Mirante Volcano-Sedimentary belt. In: A. Kröner, S. Moorbath (Eds.), **Petrologic and Geochronologic evolution of the oldest segments of the São Francisco Craton, Brazil**. **Boletim IG-USP. Série Científica**, v. 17, p. 73-96, 1992.
- MARTIN, H.; PEUCAT, J.J.; SABATÉ, P.; CUNHA, J.C. Crustal evolution of the early Archaean of South America: example of the Sete Voltas Massif, Bahia State, Brazil. **Precambrian Research**, v. 82, p. 35-62, 1997.
- MARTIN, H.; SABATÉ P.; PEUCAT J.J.; CUNHA J.C. Un segment de croute continentale d'âge Archéean ancien (3.4 milliards d'années): le Massif de Sete Voltas (Bahia-Brésil). **C.R. Acad. Sci. Paris**, v. 313, p. 531-538, 1991.
- MORIMOTO, N.; FABRIES, J.; FENGUSON, A.K.; GINZBURG, I.V.; ROSS, M.; SEIFERT, F.A.; ZUSSYMAN, J.; AOKI, K.; GOTTARDI, G. Nomenclatura of pyroxenes. **Mineralogical Magazine. Mineralogical Society**, v. 52, p.535-550, 1988.
- OLIVEIRA, E. P.; LAFON, J. M.; SOUZA, Z.S. Archean-Proterozoic transition in the Uauá Block, NE São Francisco Craton, Brazil: U-Pb, Pb-Pb and Nd isotope constraints. In: **7 SIMPÓSIO NACIONAL DE ESTUDOS TECTÔNICOS**, 1999, Lençóis. **Anais...** Lençóis: Sociedade Brasileira de Geologia, 1999. v. 1, p. 38-40.
- OLIVEIRA, E.P.; MCNAUGHTON, N.; ARMSTRONG, R.; FLETCHER, I. U-Pb SHRIMP age of the Caraiba, Medrado and S. José do Jacuípe mafic-ultramafic complexes, Paleoproterozoic Itabuna-Salvador-Curacá orogen, São Francisco Craton, Brazil. In: **Proceedings of the IV Symposium on South American Isotope Geology**. Salvador, v. 2, p. 752-754, 2003.
- OLIVEIRA, E.P.; MCNAUGHTON, N.J.; ZINCON, S.A.; TALAVERA, C. Birthplace of the São Francisco Craton, Brazil: Evidence from 3.60 to 3.64 Ga Gneisses of the Mairi Gneiss Complex. **Terra Nova**, v. 32, p. 281-289, 2020.
- PAIXÃO, M.A.P. & OLIVEIRA, E.P. The Lagoa da Vaca complex: an Archaean layered anorthosite body on the western edge of the Uauá Block, Bahia, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 28, n. 2, p. 201-208, 1998.
- PINHO, I.C.A. **Geologia dos metatonalitos/metatrondhjemitos e granulitos básicos das regiões de Camamu-Ibaitaba-Itabuna, Bahia**. Salvador. 2005. 158 p. Tese (Doutorado). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- QUEIROZ, T.D.A. **Mapeamento Geológico, petrografia, aspectos litogeoquímicos e geofísicos dos Granulitos da região de Lajedo do Tabocal: Uma Contribuição a Geologia da Folha Maracás (SD.24-V-D-I), Bahia**. Salvador. 2011. 67 p. Monografia (Graduação). Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia.
- RAASE, P. Al and Ti contents of hornblende, indicators of pressure and temperature of regional metamorphism. **Contributions to Mineral. Petrol.**, 45 (3), p. 231 - 236, 1974.
- RICHARD, L.R. **Mineralogical and petrological data processing system**. (MINPET), 1995.
- STRECKEISEN, A. To each plutonic rock its proper name. **Earth Science Reviews**, v. 12, p. 1-33. 1976.
- WILSON, N. **Combined Sm-Nd, Pb/Pb and Rb-Sr geochronology and isotope geochemistry in polymetamorphic precambrian terrains: Examples from Bahia, Brazil and Channel Island, U.K.** Inglaterra. 1987. 150 p. Dissertação (Mestrado). Oxford University.
- YAVUZ, F. & OZTAS, T. **Bioterm. A program for evaluating and plotting microprobe analyses of biotite from barre and mineralized magmatic suites**. Istanbul, Turkey, 1997.
- YAVUZ, F. **New Amphical. A program to classify microprobe wet chemical amphibole analyses**. P.K. 90, 81302. Kadiköy, Istanbul, Turkey, 1998.

Submetido em 16 de julho de 2021

Aceito para publicação em 25 de outubro de 2021