



Rem: Revista Escola de Minas

ISSN: 0370-4467

editor@rem.com.br

Escola de Minas

Brasil

Souza Gomes, Newton; Jordt Evangelista, Hanna; Batista de Medeiros Júnior, Edgar; Carneiro Filippi, Raphael; Fernandes Germano, Luciano

Ocorrência de rochas da fácies granulito no Cinturão Mineiro, Minas Gerais, Brasil

Rem: Revista Escola de Minas, vol. 63, núm. 3, julio-septiembre, 2010, pp. 433-440

Escola de Minas

Ouro Preto, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=56416593003>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal

Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Ocorrência de rochas da fácies granulito no Cinturão Mineiro, Minas Gerais, Brasil

Occurrence of granulite-facies rocks in the Mineiro Belt, Minas Gerais, Brazil

Newton Souza Gomes

DEGEO/Escola de Minas/UFOP
E-mail: newton@degeo.ufop.br

Hanna Jordt Evangelista

DEGEO/Escola de Minas/UFOP
E-mail: hanna@degeo.ufop.br

Edgar Batista de Medeiros
Júnior

Aluno de Doutorado PECRN do
DEGEO/Escola de Minas/UFOP
E-mail: edgarjr@ymail.com

Raphael Carneiro Filippo

Aluno de Graduação do DEGEO/
Escola de Minas/UFOP
E-mail: raphaelfilippo@yahoo.com.br

Luciano Fernandes
Germano

Aluno de Graduação do DEGEO/
Escola de Minas/UFOP
E-mail: ursogeo@yahoo.com.br

Resumo

Na região de Lagoa Dourada, inserida no Cinturão Mineiro, ocorrem granitóides paleoproterozóicos, que intrudem seqüências supracrustais arqueanas do *greenstone belt* Rio das Velhas. Os granitóides são cortados por rochas máficas anfibolitizadas, que portam xenólitos de granulitos. Trata-se de granulitos máficos caracterizados pela textura granoblástica e pela paragénese ortopiroxênio-clinopiroxênio-anfibólio-plagioclásio. Como fases secundárias, registram-se actinolita, cummingtonita, carbonato, epidoto, granada e quartzo. Determinações geotermométricas baseadas nos pares minerais ortopiroxênio-clinopiroxênio e anfibólio-plagioclásio produziram valores de temperatura entre 700 e 853°C. As fases secundárias são produtos de um processo metamórfico posterior.

Palavras-chave: Cinturão Mineiro, granulitos máficos, química mineral, geotermometria.

Abstract

Paleoproterozoic granitoids intruding the Archean greenstone belt of Rio das Velhas are found in the region of Lagoa Dourada, which belongs to the Mineiro Belt. The granitoids are cut by amphibolitized mafic rocks which contain xenoliths of granulite facies rocks. The rocks are mafic granulites, characterized by their granoblastic texture and by parageneses orthopyroxene-clinopyroxene-amphibole-plagioclase. As secondary minerals, actinolite, carbonite, epidote, cummingtonite, garnet and quartz can be found. Geothermometric determinations based on the mineral pairs orthopyroxene-clinopyroxene and amphibole-plagioclase yielded temperature values between 700°C and 853°C. The secondary mineral phases are interpreted as a result of a younger metamorphic event.

Keywords: Mineiro Belt, mafic granulites, mineral chemistry, geothermometry.

1. Introdução

A região austral do Cráton do São Francisco compreende um núcleo de idade arqueana bordejado pelo Cinturão Mineiro, que constituiu palco de intenso plutonismo no alvorecer de evento orogenético de idade paleoproterozóica. Na região de Lagoa Dourada, que se insere nesse cinturão, Martins (2008) descreve

o tonalito homônimo, ao qual atribuiu, com base em datações radiométricas de U/Pb em zircões, idade de cristalização de $2,337 \pm 6$ Ga. Seixas (2009 - comunicação verbal) reporta idades em torno de $2,340 \pm 7$ Ga em granitóides semelhantes, que afloram ao longo da Ferrovia do Aço a oeste da cidade de Lagoa Dourada. Esses granitóides, cuja origem estaria relacionada à fase compressiva da orogênese transamazônica (Noce et al., 2000), intrudem, na região de Lagoa Dourada, seqüências supracrustais arqueanas, do tipo *greenstone belt*, metamorfizadas em condições da fácies xisto verde. Os granitóides são cortados por rochas máficas, as quais foram metamorfizadas nas condições da fácies xisto verde a anfibolito. Em trabalhos de mapeamento geológico na escala 1:10.000 (Germano & Filippo, 2008), rochas metamórficas de fácies granulito foram identificadas em três afloramentos na Quadricula 42-22-11, da Folha de Serra do Camapuã (SF.23-X-A-V-4). Nesse artigo, são apresentados os resultados de determinações geotermométricas, que indicam a ocorrência inédita de rochas da fácies granulito, nessa porção do Cinturão Mineiro, constituída, essencialmente, por rochas granitóides de idade paleoproterozóica.

2. Geologia regional

O Cinturão Mineiro constitui-se de uma faixa de rochas de idade arqueana a paleoproterozóica de direção aproximada NE-SW, que bordeja o sul do Cráton do São Francisco, desde as imediações da cidade de Conselheiro Lafaiete, ao norte, até a cidade de Lavras, ao sul (Figura 1). Segundo Teixeira et al. (2008), os domínios arqueanos reúnem granulitos, charnockitos, enderbitos, anortositos, gabros e gnaisses migmatíticos dos complexos do Bonfim, Passa Tempo e Campo Belo, além de rochas metaultramáficas e metassedimentares do *greenstone belt* Rio das Velhas, de idade arqueana e dos *greenstones belts* Rio das Mortes, Nazareno e Dores de Campos, de idades paleoproterozóicas. A zona de cisalhamento de Lenheiros, que se estende na direção NE-SW,

constitui a principal feição estrutural do Cinturão Mineiro e separa as rochas plutônicas que intrudem o *greenstone* Rio das Mortes, a norte, daquelas que cortam o *greenstone* de Nazareno, a sul (Figura 1). A evolução do Cinturão Mineiro está intimamente relacionada à Orogenia Transamazônica, cujos processos compressivos produziram um extraordinário volume de rochas ígneas ácidas de composição metaluminosa a peraluminosa e de tendência calcioalcalina (Ribeiro et al., 1995). Pires (1977) foi um dos primeiros a identificar plútons tonalíticos a granodioríticos intrusivos em seqüências metavulcanosedimentares na região de Congonhas do Campo. Grossi Sad et al. (1983) descreveram o Batólito Alto Maranhão e observaram, também, o contato intrusivo em rochas do Grupo Nova Lima. Noce (1995) obtém idade U/Pb de 2130 ± 2 Ma para os biotita-hornblenda tonalitos do Batólito do Alto Maranhão, enquanto Seixas e Bars (2004) determinaram, também pelo método U/Pb em zircões, idades de 2195 ± 18 Ga como idade de cristalização para o plúton de Congonhas. Estudos geocronológicos desenvolvidos por Cherman (2002), Cherman e Valença (2005), Ávila et al. (2003, 2005 e 2006) determinaram idades de cristalização entre 2121 ± 7 Ga e 2255 ± 6 Ga para diversos granitóides do Cinturão Mineiro. Recentemente, Martins (2008) e Seixas (2009) reportam, com base em datações U/Pb em zircões, idades inéditas de 2337 ± 6 e 2340 ± 7 Ga para os granitóides da região de Lagoa Dourada, que ocorrem a leste e a oeste da área estudada nesse trabalho.

3. Materiais e métodos

Dos três afloramentos de rochas granulíticas foram confeccionadas lâminas delgado-polidas para estudos ao microscópio petrográfico e determinações com microsonda eletrônica. As análises de microsonda foram realizadas no Laboratório de Microanálises do Instituto de Física da Universidade Federal de Minas Gerais, utilizando-se um equipamento da marca JEOL, modelo JCXA - 8900 RL, que operou com

uma aceleração de 15 Kv e corrente de feixe de 20 nA. Os padrões utilizados nas análises pertencem à coleção Ian Steele. Como não foram utilizados padrões específicos para análise de cada uma das fases minerais, os resultados das análises de piroxênio e granada ficaram um pouco acima de 100%. As lâminas delgado-polidas foram metalizadas com uma película de carbono, para a análise dos seguintes minerais: plagioclásio, ortopiroxênio, clinopiroxênio, anfibólio e granada. Para o cálculo da forma estrutural dos minerais, resultados da microsonda foram trabalhados com o auxílio do Programa Minpet 2.0. Os cálculos geotermométricos foram efetuados utilizando-se os trabalhos de Wood e Banno (1973), Kretz (1982) e Holland e Blundy (1994).

4. Geologia local

O mapeamento geológico da área, na escala 1:10.000, revelou, segundo Germano e Filippo (2008), a existência de quatro litotipos, designados como metatonalito A, metatonalito B, anfibolito e granulito máfico (Figura 2). Os tonalitos exibem textura holocristalina, fanerítica fina a média e apresentam-se levemente foliados. O metatonalito A se distingue do metatonalito B pelos teores mais elevados de anfibólio, que chegam a atingir 25 % em volume. Segundo Germano e Filippo (*op. cit.*), as rochas possuem caráter peraluminoso a metaluminoso, semelhante ao observado por Martins (2008), nos tonalitos da região de Lagoa Dourada. Os anfibolitos apresentam trama nematoblástica e portam corpos de rochas granulíticas. Em virtude do elevado grau de intemperismo das rochas, não foi possível estabelecer, com segurança, a natureza dos contatos litológicos.

5. Petrografia

Os litotipos de fácies granulito descritos nesse trabalho podem ser classificados como granulitos máficos, segundo recomendação da União Internacional de Ciências Geológicas,

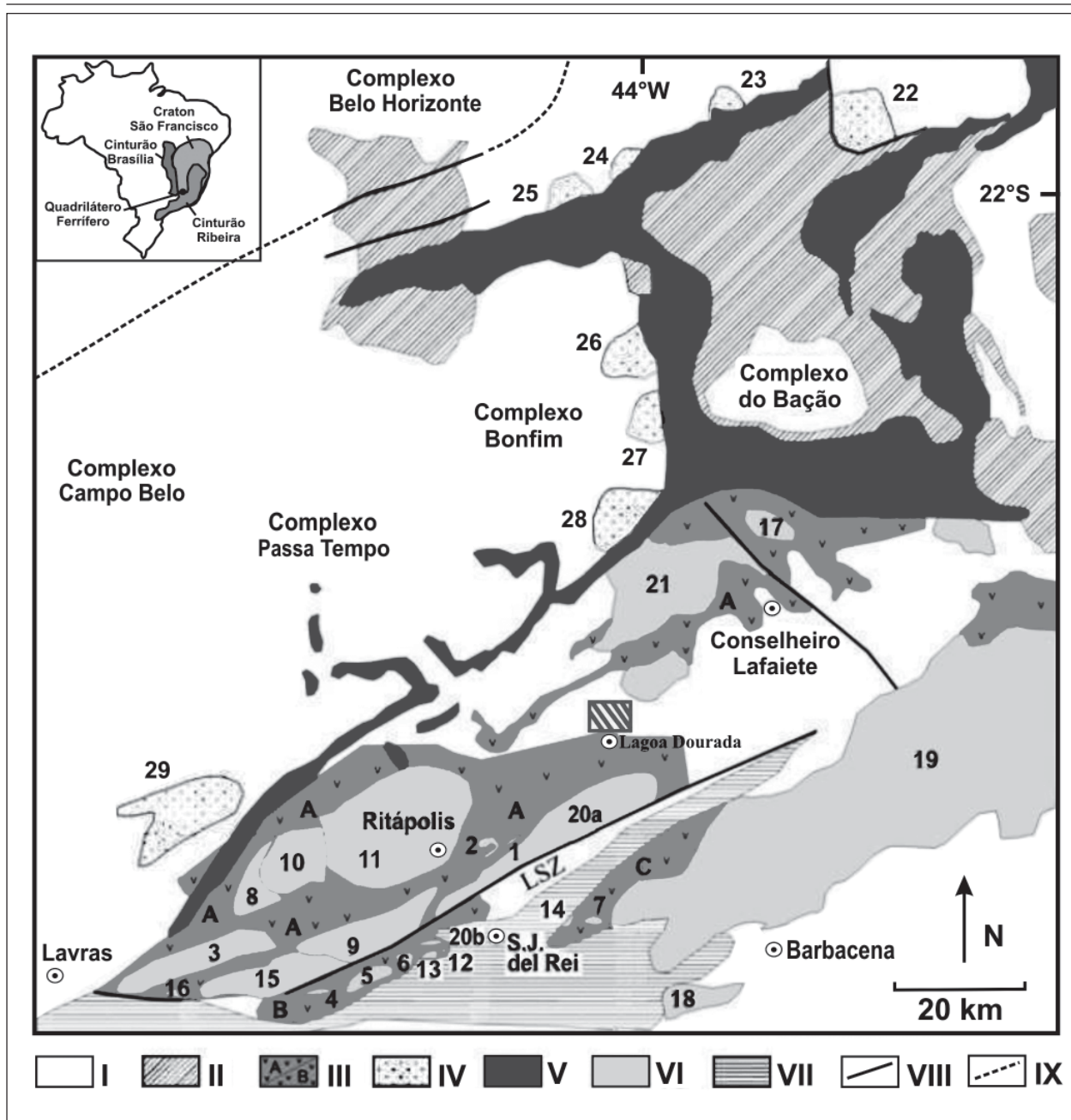


Figura 1 - Geologia do extremo sudeste do Cráton São Francisco (modificada de Teixeira et al. 2008), destacando a área de ocorrência dos granulitos estudados nesse trabalho (retângulo hachurado). I- Crosta arqueana parcialmente retrabalhada durante o Paleoproterozóico (Província Mineira-Sul). II- Supergrupo Rio das Velhas (Arqueano). III- Greenstone belts Arqueanos/Paleoproterozóicos: A- Rio das Mortes, B- Nazareno e C- Dolores de Campos. IV- Granitóides Arqueanos. V- Supergrupo Minas (Paleoproterozóico). VI- Plútons félsicos e máficos Paleoproterozóicos. VII- Sequências supracrustais de São João del-Rey (Paleoproterozóico), de Carandaí (Mesoproterozóico) e de Andrelândia (Neoproterozóico). VIII- Estruturas Maiores, como a zona de cisalhamento Lenheiro (LSZ). IX- Limite da Província Mineira-Sul. Plútons Paleoproterozóicos: 1. quartzo-monzodiorito Glória, 2. diorito Brumado, 3. diorito Rio Grande, 4. gabro Rio Grande, 5. gabro São Sebastião da Vitória, 6. quartzo-diorito Brito, 7. gabro Vitoriano Veloso, 8. diorito Ibitutinga, 9. tonalito/trondhjemito Cassiterita, 10. trondhjemito Tabuões, 11. granitóide Ritápolis, 12. granodiorito Brumado de Baixo, 13. granodiorito Brumado de Cima, 14. granitóide Tiradentes, 15. granito Nazareno, 16. granitóide Itumirim, 17. tonalito Congonhas, 18. granito Campolide, 19. Complexo Ressaquinha, 20a. gnaiss granítico Fé, 20b. granodiorito Lajedo, 21. tonalito Alto Maranhão. Plútons Arqueanos: 22. granodiorito Caeté, 23. granito General Carneiro, 24. granito Morro da Pedra, 25. granodiorito Ibirité, 26. tonalito Samambaia, 27. granodiorito Mamona, 28. granito Salto do Paraopeba, 29. granito Bom Sucesso.

Subcomissão de Sistemática de Rochas Metamórficas (IUGS/SCMR), em Fettes e Desmons (2007). A rocha apresenta texturas granoblástica (Figura 3A e B) e poiquiloblástica (Figura 3C). O litotipo é constituído por plagioclásio (cerca de 30% em volume), hornblenda (25%), clinopiroxênio (20%), ortopiroxênio (15%), pelos minerais acessórios apatita e minerais opacos, que somam cerca de 3%, além de minerais de origem secundária, como: actinolita, cummingtonita, granada, quartzo, epídoto, sericita, carbonatos, que juntos perfazem cerca de 7%. O plagioclásio tem a composição que varia entre a andesina e a labradorita, ocorrendo em cristais anédricos, com dimensão em torno de 0,8 mm. Observa-se incipiente saussuritização, responsável pela geração de epídoto e carbonato. Em amostras intemperizadas, nota-se a formação secundária de sericita e alofana, mormente na borda ou ao longo dos planos de clivagem dos plagioclásios. Três tipos de anfibólio são observados na rocha: o mais abundante apresenta coloração verde-amarronzada e forma cristais de até 4 mm, que contêm inclusões poiquiloblásticas de piroxênios e plagioclásio (Figura 3C). Alguns cristais exibem uma substituição incipiente por carbonato. As outras variedades de anfibólio são cummingtonita e actinolita. A actinolita é mais comum, possui coloração fortemente esverdeada e ocorre na forma de delgadas bordas da ordem de 0,02 mm de largura (Figura 3D), associada à cummingtonita, em torno de minerais opacos, hornblenda ou piroxênios. A cummingtonita ocorre de forma análoga, gerando bordas incolores, e, às vezes, ocorre associada à actinolita, em torno do ortopiroxênio (Figura 3E). O ortopiroxênio possui composição que varia entre a de Fe-hiperstênio e de ferrosilita. Forma cristais prismáticos, subédricos, que exibem pleocroísmo verde-pálido a rosa-acastanhado e amarelado. Os cristais exibem exsolução de clinopiroxênio e contêm inclusões poiquiloblásticas de anfibólio e plagioclásio. O clinopiroxênio possui composição entre diopsídio e hedenbergita, formando cristais de até 3 mm de dimensão, que portam inclusões de anfibólio e plagioclásio.

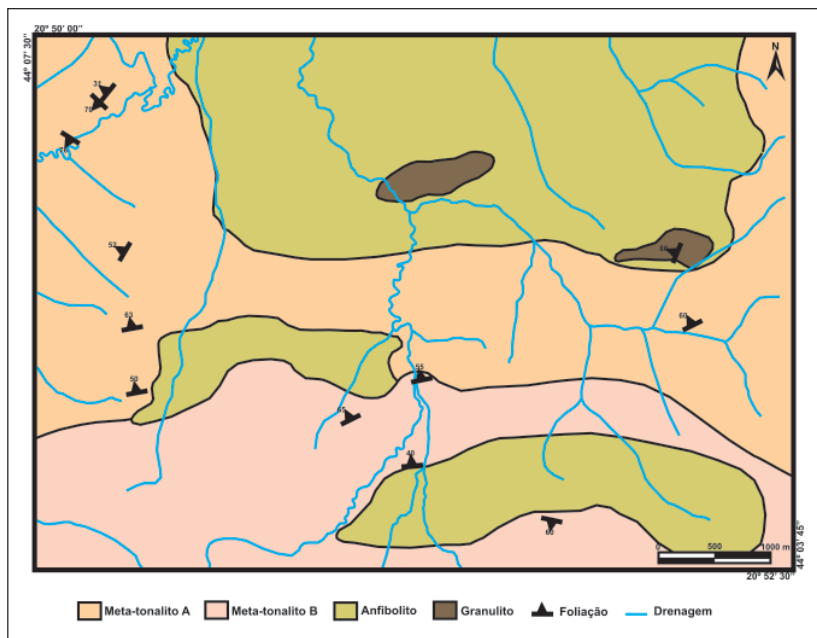


Figura 2 - Mapa geológico da área estudada (modificado de Germano & Filippo, 2008).

São frequentes a exsolução de ortopiroxênio e uma concentração de minerais opacos, gerados, provavelmente, por processos de oxidação, que se dispõem paralelamente aos planos de geminação polissintética do mineral. Os minerais opacos juntamente com a apatita constituem pequenos cristais euédricos dispostos intersticialmente na rocha. A granada é, provavelmente, de origem secundária, pois ocorre sob a forma de auréolas em torno dos minerais opacos e do anfibólio (Figura 3F). O epídoto ocorre, também, sob a forma de cristais aciculares, que se dispõem ao longo de microfraturas da rocha. O quartzo é extremamente raro e interpretado como produto de remobilização pelo fato de ocorrer preenchendo microfraturas da rocha. Como produto da alteração intemperica, registra-se, ainda, a presença de limonita, que forma delgados filmes ao longo de microfraturas da rocha.

Os anfibolitos encaixantes apresentam textura nematoblástica, caracterizada por uma incipiente orientação de hornblenda, cujo teor perfaz cerca de 60% em volume da rocha e forma cristais prismáticos subédricos com inclusões de quartzo. Plagioclásio con-

tribui com 25% da composição da rocha e ocorre em cristais fortemente saussuritizados. Titanita é a principal fase acessória, contribui com cerca de 3% da composição da rocha e ocorre, tanto em diminutos cristais losangulares, como também na forma de delgadas auréolas em torno dos minerais opacos. Apatita é bastante rara (1%) e forma pequenos cristais euédricos. Como fases secundárias, registram-se, além de epídoto, biotita e clorita.

6. Química Mineral

Na Tabela 1, são mostrados os resultados das análises de microsonda dos ortopiroxênios, bem como a fórmula estrutural calculada com base em 6 oxigênios, resultando em teores da molécula de enstatita variando de 37 a 39% (Figura 4A). O somatório dos teores de CaO, Al_2O_3 , TiO_2 e K_2O não perfaz 3,0% em peso da composição do mineral. As análises de microsonda mostram que os clinopiroxênios possuem uma composição química, entre a do diopsídio e a da hedenbergita (Figura 4A). A plotagem dos dados de microsonda, no diagrama proposto por Leake et al. (1997), mostra que a

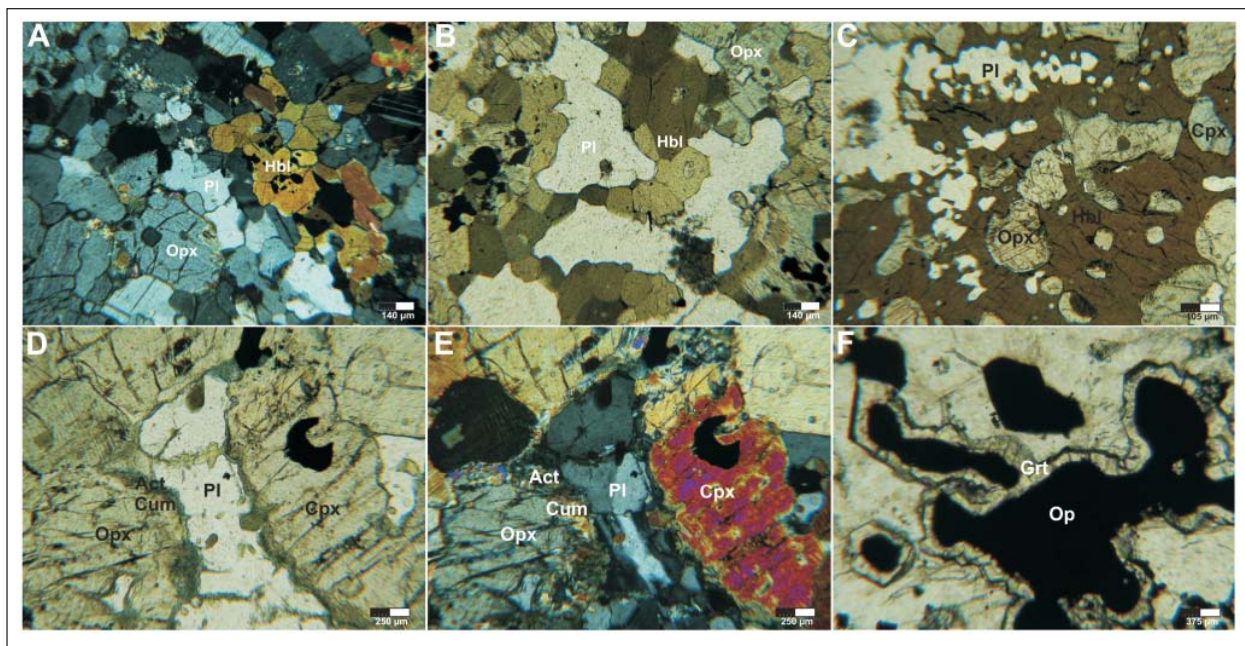


Figura 3 - Fotomicrografias dos granulitos máficos. 3A: Ortopiroxênio (opx), anfibólio (hbl) e plagioclásio (pl) num arranjo granoblástico (nicóis cruzados). 3B: Ortopiroxênio (opx), anfibólio (hbl) e plagioclásio (pl) num arranjo granoblástico (luz plana). 3C: Ortopiroxênio (opx), clinopiroxênio (cpx) e plagioclásio (pl) no anfibólio (luz plana). 3D: Auréolas de cummingtonita (cum) e actinolita (act) em torno de cristal de ortopiroxênio (opx) (luz plana). 3E: Foto anterior obtida com luz polarizada cruzada. 3F: Auréola de granada (grt) em torno de mineral opaco (op) (luz plana).

composição do anfibólio de coloração amarronzada varia da hornblenda ferrosa à hornblenda tschermackítica (Figura 4B). Foi possível, também, caracterizar como cummingtonita a variedade de anfibólio incolor, que ocorre associada à actinolita sob a forma de aureólas simplectíticas em torno dos cristais de ortopiroxênio (Figura 4C). A composição dos plagioclásios é, relativamente, homogênea e varia entre a de andesina e a de labradorita (Figura 4D). Medeiros Júnior (2009) também reporta plagioclásios com teores de anortita elevados, de até 87%, em granulitos máficos do Complexo Acaíaca. As granadas são ricas em almandina e apresentam uma composição homogênea, observando-se, entretanto, pequenas variações entre os teores de grossularita e piropo nos cristais analisados.

7. Geotermometria

As rochas de fácies granulito são caracterizadas pela paragênese plagioclásio + ortopiroxênio + clinopiroxênio

± hornblenda. Segundo De Ward (1965), a ausência de granada em equilíbrio com essa associação mineral indica que esses granulitos foram gerados em condições de pressão relativamente baixas. Para a caracterização da temperatura durante o processo metamórfico que deu origem a essas rochas, foram utilizados os geotermômetros ortopiroxênio-clinopiroxênio, nas calibrações de Wood e Banno (1973) e de Kretz (1982), fundamentadas no intercâmbio de Fe-Mg entre as fases minerais do geotermômetro, e hornblenda-plagioclásio de Holland e Blundy (1994), tendo-se, como base, as reações:

A) edenita + 4quartzo = tremolita + albita

B) edenita + albita = richterita + anortita.

As temperaturas obtidas pelo geotermômetro ortopiroxênio-clinopiroxênio, sob condições de pressão de 5 kbar, utilizando-se a calibração de Wood e Banno (1973) variam de 721 a 853°C. A calibração de Kretz (1982) apresenta um intervalo de variação nos valores de temperatura menor, variando de 754

a 836°C. Observa-se que as temperaturas médias obtidas nas duas calibrações são semelhantes, caracterizando condições de temperatura ao redor de 800°C. Utilizando-se o geotermômetro hornblenda-plagioclásio proposto por Holland e Blundy (1994), observa-se que, sob condições de pressão de 5 kbar, as temperaturas obtidas variam de 700 a 773°C e que, sob condições de 10 kbar, variam de 716 a 835°C. Lembrando-se de que a paragênese mineral presente nessas rochas é típica de condições de pressão relativamente baixas, as temperaturas médias a 5 kbar, que estão em torno de 750°C, são mais condizentes para caracterizar o metamorfismo que deu origem a esses granulitos. As temperaturas obtidas pelos geotermômetros ortopiroxênio-clinopiroxênio e hornblenda-plagioclásio não apresentam grande discrepância. As temperaturas relativamente mais altas obtidas pelo primeiro geotermômetro caracterizam as condições de temperatura mais próximas ao pico metamórfico, em torno de 800°C.

Tabela 1 - Média das análises de química mineral obtidas por microsonda eletrônica e das fórmulas estruturais dessas fases minerais. A normalização dos cátions foi realizada com base em 6 oxigênios para piroxênio, 23 para anfibólio, 12 para granada e 32 para plagioclásio. (Cpx-clinopiroxênio, Opx-ortopiroxênio, Hbl-hornblenda, Cum-cummingtonita, Grt-granada, Pl-plagioclásio).

| Piroxênio | | | | | | | | | | Anfibólio | | | | | | Granada | | | | Plagioclásio | | | | | | |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------------------------------|-------|-------|---------|---------|---------|--------------------------------|-------|-------|--------------|--------------------------------|---------|-------|-------|-------|----|
| Amostra | 23 | 60 | 23 | 57 | 60 | Cpx | Cpx | 23 | 57 | 60 | Amostra | 57 | 60 | Amostra | Mineral | Grt | Grt | 23 | 57 | 60 | Amostra | Mineral | PI | PI | PI | PI |
| Nº de análise | 3 | 2 | 3 | 1 | 5 | 5 | 1 | 3 | 1 | 2 | Nº de análise | 3 | 1 | 2 | 1 | 1 | Nº de análise | 1 | 2 | 2 | Nº de análise | 2 | 6 | 2 | 2 | 2 |
| SiO ₂ | 50,53 | 50,33 | 51,49 | 51,78 | 51,36 | 51,36 | 2,17 | 43,53 | 52,68 | 44,01 | SiO ₂ | 43,53 | 52,68 | 44,01 | 53,9 | 42,95 | SiO ₂ | 38,81 | 38,97 | 38,97 | SiO ₂ | 57,01 | 55,33 | 57,55 | 57,55 | |
| TiO ₂ | 0,16 | 0,13 | 0,27 | 0,21 | 0,25 | 0,25 | 2,21 | 1,66 | 0,17 | 1,58 | TiO ₂ | 1,66 | 0,17 | 1,58 | 0,08 | 1,96 | TiO ₂ | 0,23 | 0,17 | 0,17 | TiO ₂ | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | |
| Al ₂ O ₃ | 1,13 | 0,96 | 16,46 | 16,00 | 16,14 | 16,14 | 1,87 | 11,73 | 1,60 | 11,50 | Al ₂ O ₃ | 11,73 | 1,60 | 11,50 | 0,74 | 11,2 | Al ₂ O ₃ | 21,5 | 21,63 | 21,63 | Al ₂ O ₃ | 27,33 | 28,53 | 27,79 | 27,79 | |
| FeO | 37,37 | 36,53 | 16,46 | 16,00 | 16,14 | 16,14 | 16,00 | 21,94 | 31,19 | 21,36 | FeO | 21,94 | 31,19 | 21,36 | 30,73 | 22,8 | FeO | 31,7 | 29,67 | 29,67 | FeO | 0,15 | 0,15 | 0,12 | 0,12 | |
| MnO | 0,69 | 0,63 | 0,28 | 0,29 | 0,27 | 0,27 | 0,29 | 0,17 | 0,77 | 0,16 | MnO | 0,17 | 0,77 | 0,16 | 0,51 | 0,16 | MnO | 1,15 | 0,89 | 0,89 | MnO | 0,02 | 0,01 | 0 | 0 | |
| MgO | 11,7 | 11,68 | 8,71 | 9,06 | 8,99 | 8,99 | 9,06 | 7,01 | 11,08 | 7,60 | MgO | 7,01 | 11,08 | 7,60 | 13,02 | 6,49 | MgO | 2,42 | 2,70 | 2,70 | MgO | 0 | 0,01 | 0 | 0 | |
| CaO | 1,2 | 1,51 | 21,16 | 20,92 | 20,54 | 20,54 | 20,92 | 10,33 | 1,74 | 10,72 | CaO | 10,33 | 1,74 | 10,72 | 0,60 | 10,5 | CaO | 7,24 | 8,35 | 8,35 | CaO | 9,54 | 10,81 | 9,33 | 9,33 | |
| Na ₂ O | 0,03 | 0,03 | 0,40 | 0,36 | 0,43 | 0,43 | 0,36 | 1,63 | 0,2 | 1,61 | Na ₂ O | 1,63 | 0,2 | 1,61 | 0,06 | 1,58 | Na ₂ O | 0 | 0,04 | 0,04 | Na ₂ O | 5,25 | 4,67 | 5,52 | 5,52 | |
| K ₂ O | 0,01 | 0 | 0,02 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0 | 0,31 | 0,08 | 0,17 | K ₂ O | 0,31 | 0,08 | 0,17 | 0,12 | 0,16 | K ₂ O | 0,03 | 0,02 | 0,02 | K ₂ O | 0,03 | 0,03 | 0,05 | 0,05 | |
| Total | 102,8 | 101,8 | 101 | 100,5 | 100,2 | 100,2 | 100,5 | 98,32 | 99,51 | 98,68 | Total | 98,32 | 99,51 | 98,68 | 99,76 | 97,8 | Total | 103,1 | 102,4 | 102,4 | Total | 99,32 | 99,56 | 100,4 | 100,4 | |

Cátions

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| TSi | 1,97 | 1,98 | 1,97 | 1,97 | 1,98 | 1,97 | 1,97 | 6,54 | 7,88 | 6,56 | 7,97 | 6,52 | 3,01 | 3,02 | 3,01 | TSi | 10,26 | 3,02 | 3,02 | 10,26 | 9,98 | 10,25 | 10,25 | 10,25 | |
| TAI | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,02 | 1,46 | 0,12 | 1,44 | 0,03 | 1,48 | 1,96 | 1,98 | 1,96 | Al ^{VI} | 5,79 | 1,98 | 1,98 | 5,79 | 6,06 | 5,83 | 5,83 | 5,83 | |
| M1Al | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,62 | 0,16 | 0,58 | 0,1 | 0,53 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | Ti | 0 | 0,01 | 0,01 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| M1Ti | 0 | 0 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,41 | 0 | 0,39 | 0 | 0,4 | 2,06 | 1,92 | 2,06 | Fe ² | 0,02 | 1,92 | 1,92 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | |
| M1Fe ² | 0,29 | 0,29 | 0,43 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,41 | 0,19 | 0,02 | 0,18 | 0,01 | 0,22 | 0,28 | 0,31 | 0,28 | Mn | 0 | 0,31 | 0,31 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| M1Mg | 0,68 | 0,68 | 0,5 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 0,52 | 1,57 | 2,47 | 1,69 | 2,87 | 1,47 | 0,08 | 0,06 | 0,08 | Mg | 0 | 0,06 | 0,06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | |
| M2Fe ² | 0,92 | 0,91 | 0,1 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 0,11 | 2,2 | 2,35 | 2,15 | 2,02 | 2,37 | 0,6 | 0,69 | 0,6 | Ca | 1,84 | 0,69 | 0,69 | 1,84 | 2,09 | 1,78 | 1,78 | 1,78 | |
| M2Mn | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0 | 0,01 | 0 | Na | 1,83 | 0,01 | 0,01 | 1,83 | 1,63 | 1,9 | 1,9 | 1,9 | |
| M2Ca | 0,05 | 0,06 | 0,87 | 0,86 | 0,85 | 0,85 | 0,86 | 0,15 | 1,55 | 0,13 | 1,78 | 0,13 | 68,2 | 64,38 | 68,2 | K | 0,01 | 64,38 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | |
| M2Na | 0 | 0 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,03 | 0,01 | 0,1 | 0,01 | 0,06 | 0,01 | 23,21 | 23,21 | 23,21 | Grossularita | 49,8 | 23,21 | 49,8 | 43,77 | 51,5 | 51,5 | 51,5 | 51,5 | |
| M2K | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,66 | 0,28 | 1,71 | 0,1 | 1,71 | 9,3 | 10,41 | 9,3 | Piropo | 50 | 10,41 | 10,41 | 56,02 | 48,15 | 48,15 | 48,15 | 48,15 | |
| Enstatita | 34,49 | 34,74 | | | | | | 0,18 | 0,06 | 0,15 | 0,02 | 0,16 | 2,5 | 1,94 | 2,5 | Espeessartita | 0,15 | 1,94 | 1,94 | 0,15 | 0,2 | 0,3 | 0,3 | 0,3 | |
| Ferrossilita | 62,97 | 62,02 | | | | | | 0,3 | 0 | 0,31 | 0 | 0,31 | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | 0,06 | 0,02 | 0,03 | 0,02 | 0,03 | | | | | | | | | | | | | |

8. Discussão dos resultados

Os terrenos granulíticos, embora apresentem uma ampla distribuição no registro geológico, que se estende do Arqueano (Harley, 1985) ao Terciário (Dropp & Burche-Nurminen, 1984), encontram-se, em função das elevadas condições de temperatura indispensáveis para a sua formação, restritos, basicamente, a cinco tipos de contextos geológicos. As formas clássicas de ocorrência de rochas granulíticas incluem os maciços granulíticos (Rötzler & Romer, 2001), faixas encaixadas em cinturões orogênicos do tipo alpino (Montanini & Harlov, 2006), boudins com dimensões métricas em terrenos metamórficos da fácies eclogito (Zhang et al., 2009), nódulos centimétricos em pipes kimberlíticos (Rogers, 1977), além de xenólitos em rochas magmáticas de filiação mantélica (Stosch & Lugmair, 1984).

A área estudada está inserida em um contexto geológico regional caracterizado pela ocorrência de rochas máficas anfibolitizadas com características mineralógicas e texturais idênticas às das rochas metamáficas identificadas, nesse trabalho, como encaixantes dos corpos granulíticos (Santos & Veiga, 2008; Costa & Cinquini, 2008). A ausência de evidências de metamorfismo de fácies granulito, tanto nas rochas máficas, como nos granitóides da região, permite inferir que os pequenos corpos granulíticos investigados nesse trabalho corresponderiam a xenólitos transportados durante a colocação dos magmas máficos. Um outro evento metamórfico que transformou as intrusivas máficas em anfibolitos atuou sobre os granulitos máficos, gerando a paragênese formada por actinolita, cummingtonita, epidoto, carbonato e quartzo. Os granulitos máficos representariam nódulos reliquiais que, originalmente, possuíam dimensão maior e foram, parcialmente, preservados do metamorfismo. A ausência de textura ígnea combinada com os valores obtidos nos cálculos geotermométricos é que permite concluir que esses litotipos foram submetidos a condições metamórficas de fácies granulito.

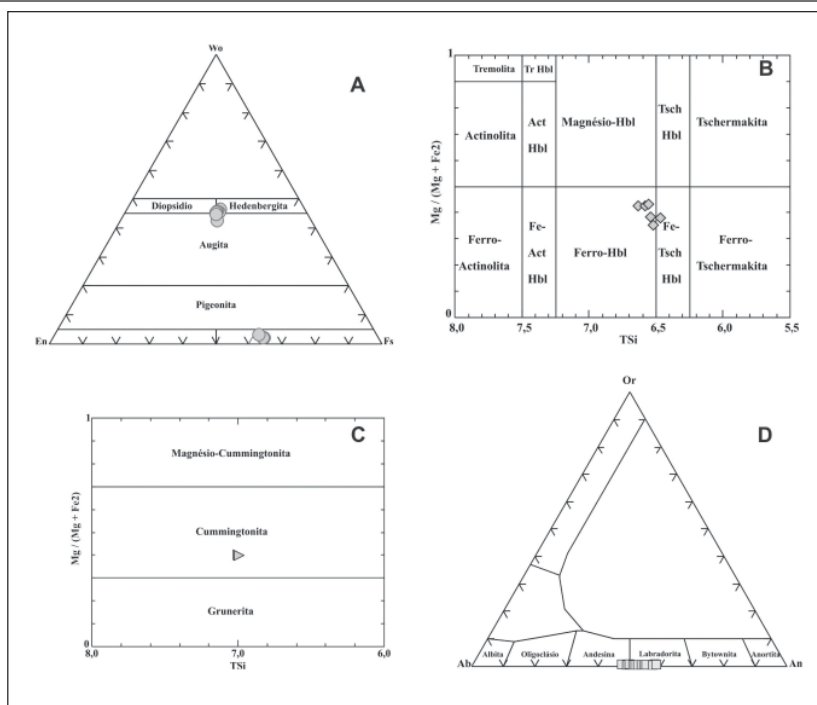


Figura 4 - Classificação dos minerais analisados por microsonda eletrônica. **A:** Piroxênios. **B:** Clinoanfibólios cálcicos. **C:** Clinoanfibólios não-cálcicos. **D:** Plagioclásios.

9. Conclusões

A observação da trama granoblástica e da paragênese mineral composta, essencialmente, por ortopiroxênio, clinopiroxênio, hornblenda e plagioclásio, permitiu reconhecer as rochas como pertencentes à fácies granulito. As rochas foram classificadas como granulitos máficos, segundo classificação de Fettes e Desmons (2007). As análises de microsonda revelaram que os piroxênios possuem composição constante e ausência de zonamento. Os plagioclásios possuem composição que varia entre a da andesina e a da labradorita. Três variedades de anfibólio, a hornblenda marrom, a cummingtonita e a actinolita, foram reconhecidas, sendo as duas últimas de origem secundária. As granadas possuem altos teores dos membros almandina e grossularita e baixos teores do componente espessartita e, pelo fato de formar auréolas em torno de fases opacas, foram interpretadas como de origem secundária. Os cálculos geotermométricos forneceram valores de temperatura entre 700 e 853°C, típicos da fácies granulito de baixa pressão. A

paragênese mineral epidoto-carbonato-cummingtonita-actinolita-quartzo foi interpretada como resultante de um outro processo metamórfico, que anfibolitizou as rochas máficas portadoras dos xenólitos granulíticos.

10. Agradecimentos

Ao Professor Renato de Moraes, pelas observações pertinentes, que muito contribuíram para melhoria desse artigo, os sinceros e indeléveis reconhecimentos dos autores.

11. Referências bibliográficas

- ÁVILA, C.A., VALENÇA, J. G., MOURA, C.A.V., KLEIN, V., PEREIRA, R.M. Geoquímica e idade do Trondhjemitó Cassiterita, borda meridional do Cráton do São Francisco, Minas Gerais. *Arquivos do Museu Nacional*, v. 61, p.267-284, 2003.
- ÁVILA, C.A., VALENÇA, J.G., TEIXEIRA, W., BARRUETO, H.R., CORDANI, U. G., MOURA, C.A.V., PEREIRA, R. M., MARTINS, V.T.S. Geocronologia U/Pb e Pb/Pb da suíte Serrinha: implicações para a

- evolução paleoproterozóica da margem sul do Cráton do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE VULCANISMO E AMBIENTES ASSOCIADOS, 3. *Anais...* Cabo Frio: SBG, v. 1, p. 357-361, 2005.
- ÁVILA, C.A., TEIXEIRA, W., CORDANI U.G., BARRUETO, H.R., PEREIRA, R.M., MARTINS, V.T.S., DUNYL, L. The Gloria quartz-monzodiorite isotopic and chemical evidence of arc related magmatism in the central part of the Mineiro Belt, Minas Gerais State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 78, p. 743 - 556, 2006.
- CHERMAN, A.F. *Geologia e petrografia de áreas dos Greenstone Belts Rio Capivari-Rio das Mortes e Itumirim-Tiradentes e rochas granitóides associadas entre Nazareno e Lavras (Estado de Minas Gerais)*. Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002. 161 p. (Dissertação de Mestrado).
- CHERMAN, A.F., VALENÇA, J.G. Geologia e geocronologia dos ortognaisses paleoproterozóicos da borda meridional do Cráton do São Francisco entre as cidades de Nazareno e Lavras, sul de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 3. *Anais...* Salvador: SBG, v. 1, p. 147 - 150, 2005.
- COSTA, J.P.C., CINQUINI, L.C. *Contribuição à geologia da quadrícula 42-22-07, Folha Resende Costa (SF-23-X-A-V-4), a norte do município de Lagoa Dourada, Minas Gerais*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008. 99 p. (Trabalho Final de Graduação, Monografia 458).
- DE WARD, D. A proposed subdivision of the granulite facies. *American Journal of Science*, v. 263, p. 455-461, 1965.
- DROPP, G.T.R., BUCHER-NURMINEN, K. Reaction textures and metamorphic evolution of sapphirine-bearing granulites from Gruff Complex, Italian Central Alps. *Journal of Petrology*, v. 25, p. 766-803, 1984.
- FETTES, D., DESMONS, J. *Metamorphic rocks. A classification and glossary of terms*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. 244 p.
- GERMANO, L.F., FILIPPO R.C. *Geologia da Quadrícula 42-22-11 Folha Serra do Camapuã (SF-23-X-AV-4). Projeto Lagoa Dourada*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008. 56 p. (Trabalho Final de Graduação, Monografia 461).
- GROSSI SAD, J. H., PINTO, C.P., DUARTE, C.L. Geologia do Distrito Manganêsífero de Conselheiro Lafaiete, MG. In: SBG. SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 2. *Anais...* Belo Horizonte, SBG, 1983. v. 3, p. 259 -270.
- HARLEY, S.L. Garnet-orthopyroxene bearing granulites from Enderby Land, Antarctica: metamorphic pressure-temperature-time evolution of Archean Napier Complex. *Journal of Petrology*, v. 26, p. 819-856, 1985.
- HOLLAND, T., BLUNDY, J. Non-Ideal interaction in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 116, n. 4, p. 433-447, 1994.
- KRETZ, R.. Transfer and exchange equilibria in a portion of the pyroxene quadrilateral as deduced from natural and experimental data. *Geochimica Cosmochimica Acta*, v. 46, p. 411-422, 1982.
- LEAKE, B.E., WOOLEY, A.R., HAWTHORNE, F.C., KATO, A., KRIVOVICHEV, V.G., LAIRD, J., MARESCH, W.V., SCHUMACHER, J.C., STEPHENSON, N.C.N., WITTAKER, E.J.W., YOUZHI, G. Nomenclature of amphibols of the International Mineralogical Association Commission on New Minerals and Mineral Names. *Mineralogical Magazine*, v. 61, p. 295-321, 1997.
- MARTINS, L.A. *Aspectos de campo, petrográficos, química mineral, litogeoquímica isotópica Sm-Nd de tonalitos paleoproterozóicos da porção setentrional da Suíte Alto Maranhão, Minas Gerais*. Universidade Federal de Ouro Preto, Contribuições às Ciências da Terra, Série M, v. 52, 2008. 125 p. (Dissertação de Mestrado).
- MEDEIROS JÚNIOR, E. B. *Petrogênese do Complexo Acaiaça, MG*. Universidade Federal de Ouro Preto, Contribuições às Ciências da Terra, Série M, v. 66, 2009. 101 p. (Dissertação de Mestrado).
- MONTANINI, A., HARLOV, D. Petrology and mineralogy of granulite-facies mafic xenoliths (Sardinia, Italy): Evidence for KCl metasomatism in the lower crust. *Lithos*, v. 92, p. 588-608, 2006.
- NOCE, C.M.. *Geocronologia dos eventos magmáticos, sedimentares e metamórficos da região do Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais*. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 1995. 128 p. (Tese de Doutorado).
- NOCE, C.M., TEIXEIRA, W., QUÉMÉNEUR, J.J.G., MARTINS, W.T.S., BOLZACHINI, E. Isotopic signature of paleoproterozoic granitoids from the southern São Francisco Craton and implications of the evolution of the Transamazonian Orogeny. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 13, p. 225-239, 2000.
- PIRES, F.R.M. *Geologia do Distrito Manganêsífero de Conselheiro Lafaiete*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1977. 344 p. (Dissertação de Mestrado).
- RIBEIRO, A., TROUW, R.A. J., ANDREIS, R.R., PACIULLO, F.V.P., VALENÇA, J.G. Evolução das bacias proterozóicas e o termo-tectonismo brasileiro na margem sul do Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 25, p.235-248, 1995.
- ROGERS, N. W. Granulite xenoliths from Lesotho Kimberlites and their lower continental crust. *Nature*, v. 270, p. 681-684, 1977.
- RÖTZLER, J., ROMER, R.L. P-T-t Evolution of Ultrahigh-Temperature Granulites from the Saxon Granulite Massif, Germany. Part I: Petrology. *Journal of Petrology*, v. 42, p.1995-2013, 2001.
- SANTOS, D. E., VEIGA, T. M. *Geologia da ortofotocarta 42-22-15, Folha Resende Costa (SF-23-X-A-V-4), região noroeste do município de Lagoa Dourada, Minas Gerais*. Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, 2008. 91 p. (Trabalho Final de Graduação, Monografia 457).
- SEIXAS, L.A.R., BAARS, F.J. Amalgamação transamazônica (2.2 - 2.1 Ga) ao longo do Lineamento Congonhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, SBG Resumos CD-ROM, 2004.
- STOSCH, H-G., LUGMAIR, G.W. Evolution of the lower continental crust: granulite facies xenoliths from the Eifel, West Germany. *Nature*, v. 311, p. 368-370, 1984.
- TEIXEIRA, W., ÁVILA, C.A., NUNES, L.C. Nd-Sr Isotopic Geochemistry and Geochronology of the Fé Granitic Gneiss and Lajedo Granodirite: implications for paleoproterozoic Evolution of the Mineiro Belt, Southern São Francisco Craton, Brazil. *Revista do Instituto de Geociências*, USP, v. 8, n. 1, p. 53-74, 2008.
- WOOD, B.J., BANNO, S. Garnet-Orthopyroxene and Orthopyroxene-Clinopyroxene Relationships in Simple and Complex Systems. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 42, p. 109-124, 1973.
- ZHANG, J., MATTINSON, C.G., MENG, F., YANG, H., WAN, Y. U-Pb geochronology of paragneisses and metabasite in the Xitieshan area, north Qaidam Mountains, western China: Constraints on the exhumation of HP/UHP metamorphic rocks. *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 35, p. 245:258, 2009.

Artigo recebido em 27/08/2009 e aprovado em 19/03/2010.