

# GRAU METAMÓRFICO DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO *GREENSTONE BELT* MORRO DO FERRO: ABORDAGEM UTILIZANDO TEXTURAS DE EXSOLUÇÃO EM ANFIBÓLIOS

Nedson Humberto FERNANDES <sup>1</sup>, Sebastião Gomes de CARVALHO <sup>2</sup>,  
Antenor ZANARDO <sup>2</sup>, Tânia Maria Gomes FERNANDES <sup>1</sup>

- (1) Departamento de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Ceará, Bloco 912, Campus do Pici.  
CEP 60.455-760. Fortaleza, CE. Endereços eletrônicos: nedsonhf@bol.com.br, taniangf@bol.com.br.  
(2) Departamento de Petrologia e Metalogenia, IGCE, UNESP. Avenida 24-A, 1515 - Bela Vista. CEP 13.506-900.  
Rio Claro, SP. Endereços eletrônicos: carvalho@rc.unesp.br, azanardo@rc.unesp.br.

Introdução  
Geologia Regional  
Geologia das Formações Ferríferas do GBMF  
Fácies Óxido-Silicato  
Rocha Bandada  
Rocha Não-Bandada  
Fácies Silicato  
Resultados  
Discussões  
Conclusões  
Agradecimentos  
Referências Bibliográficas

**RESUMO** - As fácies óxido-silicato e silicato das formações ferríferas bandadas, relacionadas ao *Greenstone Belt* Morro do Ferro (GBMF) no sudoeste do Estado de Minas Gerais, apresentam texturas de exsolução entre clinoanfíbólios cálcico-magnesianos [ferro-actinolita] e clinoanfíbólios ferro-magnesianos [cummingtonita] representativas de metamorfismo com ápice na fácies anfibolito superior (temperaturas superiores a 700° C). A associação mineral de anfíbólios [ferro-actinolita, hornblenda-ferro-actinolítica, cummingtonita] + magnetita + quartzo na fácies óxido-silicato e anfíbólios [actinolita, ferro-actinolita, hornblenda-ferro-actinolítica, ferro-hornblenda, cummingtonita-grünerita] + quartzo na fácies silicato indica retrometamorfismo na fácies anfibolito média ou inferior. O retrometamorfismo tardio é representado por metassomatismo dos anfíbólios (cloritização seguido de epidotização e carbonatação) na fácies xisto-verde inferior.

**Palavras-chave:** Metamorfismo; exsolução; fácies; texturas.

**ABSTRACT** - *N.H. Fernandes, S.G. de Carvalho, A. Zanardo, T.M.G. Fernandes - Metamorphic grade of iron-formations of the Morro Ferro Greenstone Belt, using exsolution textures in amphibole* - The oxide-silicate and silicate facies of the banded iron-formations, related to Morro do Ferro Greenstone Belt (GBMF) in the southwest Minas Gerais State, present exsolution textures between calcic-magnesian clinoamphiboles [iron-actinolite] and iron-magnesian clinoamphiboles [cummingtonite] representative of metamorphism with top in the upper amphibolite and granulite facies (temperatures higher than 700° C). The mineral association of amphiboles [iron-actinolite, iron-actinolite-hornblende, cummingtonite] + magnetite + quartz in the oxide-silicatic facies and amphiboles [actinolite, iron-actinolite, iron-actinolite-hornblende, iron-hornblende, cummingtonite-grünerite] + quartz in the silicatic facies indicate retrometamorphism under medium to lower amphibolite facies conditions. The last retrometamorphism effects is represented by metasomatism of the amphiboles (chloritization followed by epidotization and carbonation) in the lower greenschist facies.

**Keywords:** Metamorphism; exsolution; facies; textures.

## INTRODUÇÃO

As formações ferríferas bandadas pré-cambrianas mostram associações mineralógicas indicativas de temperaturas tanto diagenéticas como metamórficas de baixo, médio e alto grau. Em condições metamórficas de grau médio, a maioria das formações ferríferas, a depender das rochas precursoras, desenvolve comumente variedades de anfíbólios, principalmente os representados pelos membros da série cummingtonita-grünerita (variedades pobres em cálcio) como as de Negaunee, região do Lago Superior, Sokoman, em Labrador Trough, Supergrupo Transvaal na Área Penge próximo ao Complexo de Bushveld e as de

Fortaleza de Minas (MG). Também tremolita, actinolita e ferro-actinolita (variedades ricas em cálcio) podem estar presentes.

Texturas de intercrescimentos resultantes de exsolução entre anfibólio pobre e rico em cálcio foram descritas por Bonnicksen (1969) nas formações ferríferas Biwabik (Área do Rio Dunka, Minnessota, EUA), Ross et al. (1969) e Immege & Klein (1976) no sudoeste de Montana (EUA) e, mais recentemente, nas formações ferríferas bandadas do *Greenstone Belt* Morro do Ferro (GBMF), próximo de Fortaleza de Minas (Fernandes, 1997; Fernandes et al., 1999).

O presente trabalho discute os resultados dos dados de química mineral em pares de anfibólios, que mostram texturas muito finas de exsolução, e que estão presentes nas formações ferríferas bandadas do GBMF, relacionadas ao depósito cupro-niquelífero Fortaleza

de Minas, no sudoeste do Estado de Minas Gerais. Essas texturas de exsolução em anfibólios são marcadores de temperatura e, desta forma, podem ser utilizadas para o entendimento do ápice do metamorfismo na região.

## GEOLOGIA REGIONAL

O GBMF está inserido na Província Estrutural Tocantins (Almeida et al., 1981) limitado a leste pela Província São Francisco e a sul pela Província Mantiqueira.

O GBMF, primeiramente descrito por Teixeira (1978) e Teixeira & Danni (1979), constitui um segmento linear, com largura média de 30 km, estendendo-se por mais de 180 km desde as proximidades da cidade de Cássia até Lavras, (Brenner et al., 1990). Compõe-se por uma série de fatias subverticais e tem sua maior porção a sudeste de Fortaleza de Minas e a sul de Alpinópolis (Figura 1). Contém derrames komatiíticos com textura *spinifex* (Schmidt, 1983; Choudhuri et al., 1983), semelhantemente a vários *greenstones belts* arqueanos, além da presença de corpos de sulfetos maciços vulcanogênicos (VMS) na base desses derrames (Brenner et al., 1990). A porção mais contínua desse *greenstone belt* aflora entre Fortaleza de Minas e Bom Jesus da Penha por uma distância maior que 60 km. Teixeira et al. (1987) subdividiram o GBMF em três segmentos principais: Fortaleza de Minas, Alpinópolis e Bom Jesus da Penha-Jacuí (Figura 2).

A Unidade Morro do Níquel, base do segmento Fortaleza de Minas, contém o Depósito Fortaleza de Minas, de aproximadamente 10 milhões de toneladas de minério com teores de 2,2 % de Ni, 0,4 % de Cu,

0,05 % de Co e 1,2 ppm de EGP+Au. Essa unidade é composta por uma sucessão de derrames komatiíticos maciços e diferenciados, com zonas basais cumuláticas e zonas superiores portando textura *spinifex*, além de derrames almofadados e brechas de fluxo. Os sedimentos químicos são constituídos principalmente por formações ferríferas de fácies óxido-silicato e silicato (Fernandes et al., 1997; Fernandes, 1997). Fácies manganésíferas e sedimentos tufáceos também ocorrem como intercalações conjuntamente com as formações ferríferas, marcando o ciclo de um derrame vulcânico para outro.

A Unidade Morro do Ferro, topo do Segmento Fortaleza de Minas, é composta por sedimentos químicos (formação ferrífera de fácies óxido), clásticos e tufáceos, com derrames vulcânicos subordinados de composição komatiítica, localmente apresentando texturas *spinifex*, cumuláticas e toleítica (Brenner et al., 1990).

O Segmento Alpinópolis é composto principalmente por komatiitos com textura *spinifex* e subordinadamente vulcânicas básicas, formações ferríferas bandadas e *cherts* (Carvalho et al., 1982, 1993, 1996; Szabó, 1989, 1996; Carvalho, 1990).

O Segmento Bom Jesus da Penha-Jacuí ocorre no sul e leste do Segmento Fortaleza de Minas, é constituído, predominantemente, por metassedimentos aluminosos com menores proporções de metabasaltos, anfibolitos e talco xistos (Brenner et al., 1990).

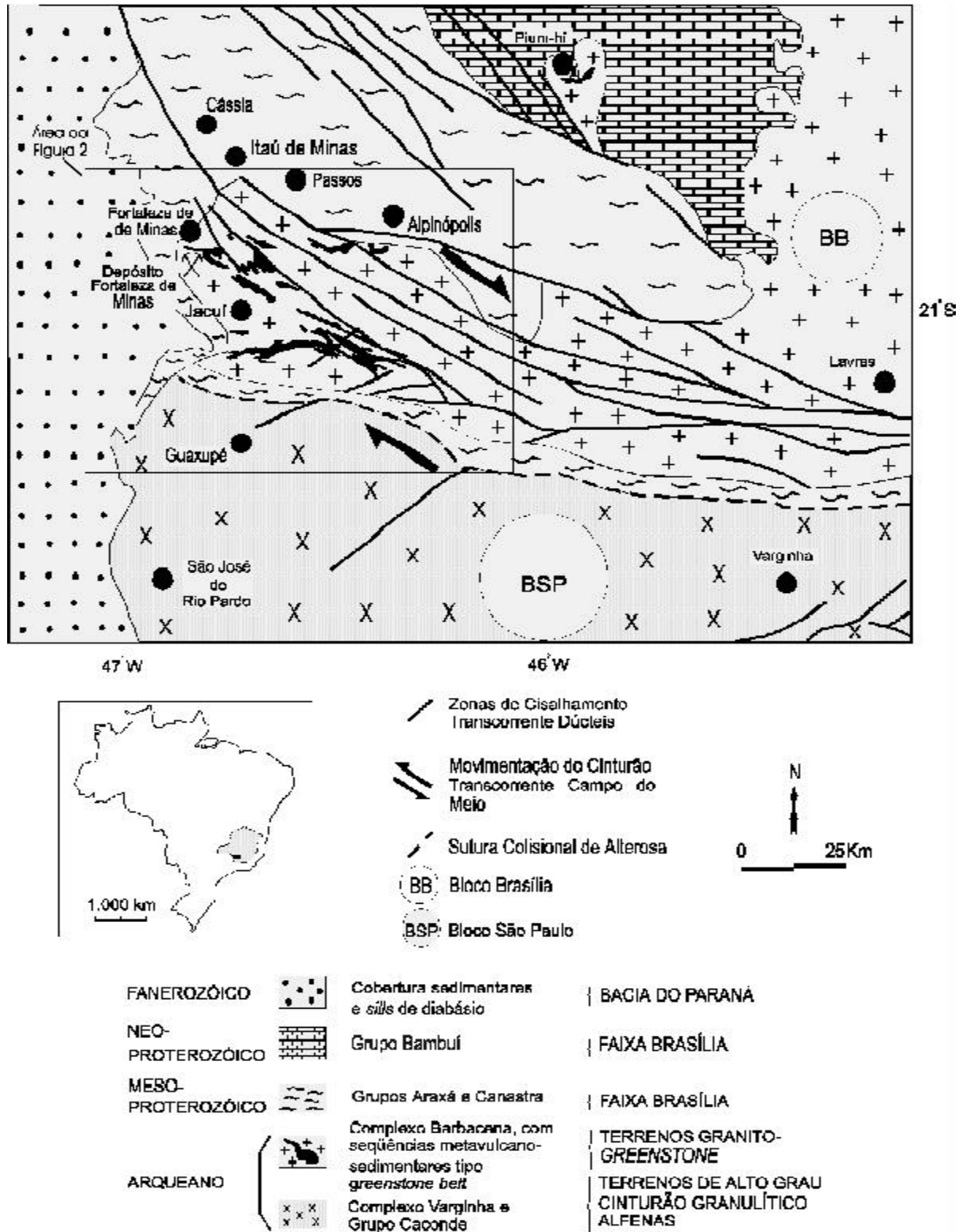
## GEOLOGIA DAS FORMAÇÕES FERRÍFERAS DO GBMF

As formações ferríferas presentes no GBMF na região de Fortaleza de Minas ocorrem como níveis intercalados em uma espessa pilha composta por rochas vulcânicas (serpentinitos, metapiro Xenitos, meta-peridotitos e metabasaltos - Figura 3). Esses níveis, que representam períodos de quiescência do vulcanismo, apresentam espessuras variáveis, desde milímetros (microlaminações a microbandamento) até metros (macrobandamento). Geralmente formam corpos lenticularizados, podendo apresentar comprimento de vários quilômetros.

As formações ferríferas exibem estruturas bandadas ou maciças. A estrutura bandada é caracterizada pela alternância de leitos escuros ricos em minerais

opacos (predominantemente magnetita) e leitos esverdeados e esbranquiçados constituídos por minerais silicáticos (anfíbólios, clorita e quartzo). Subordinadamente ocorrem leitos constituídos de sulfetos, que se alternam com as camadas de composição silicatadas e óxidos. Os diferentes tipos de anfíbólios das formações ferríferas do GBMF foram caracterizados através de química mineral em microsonda eletrônica (Fernandes, 1997).

Levando-se em consideração os aspectos mineralógicos e texturais das formações ferríferas relacionadas ao GBMF em Fortaleza de Minas, foi possível a caracterização das fácies óxido-silicato e fácies silicato.



**FIGURA 1.** Localização do *Greenstone Belt* Morro do Ferro no sudoeste do Estado de Minas Gerais. Simplificado de informação de Yociteru Hasui (comunicação escrita).

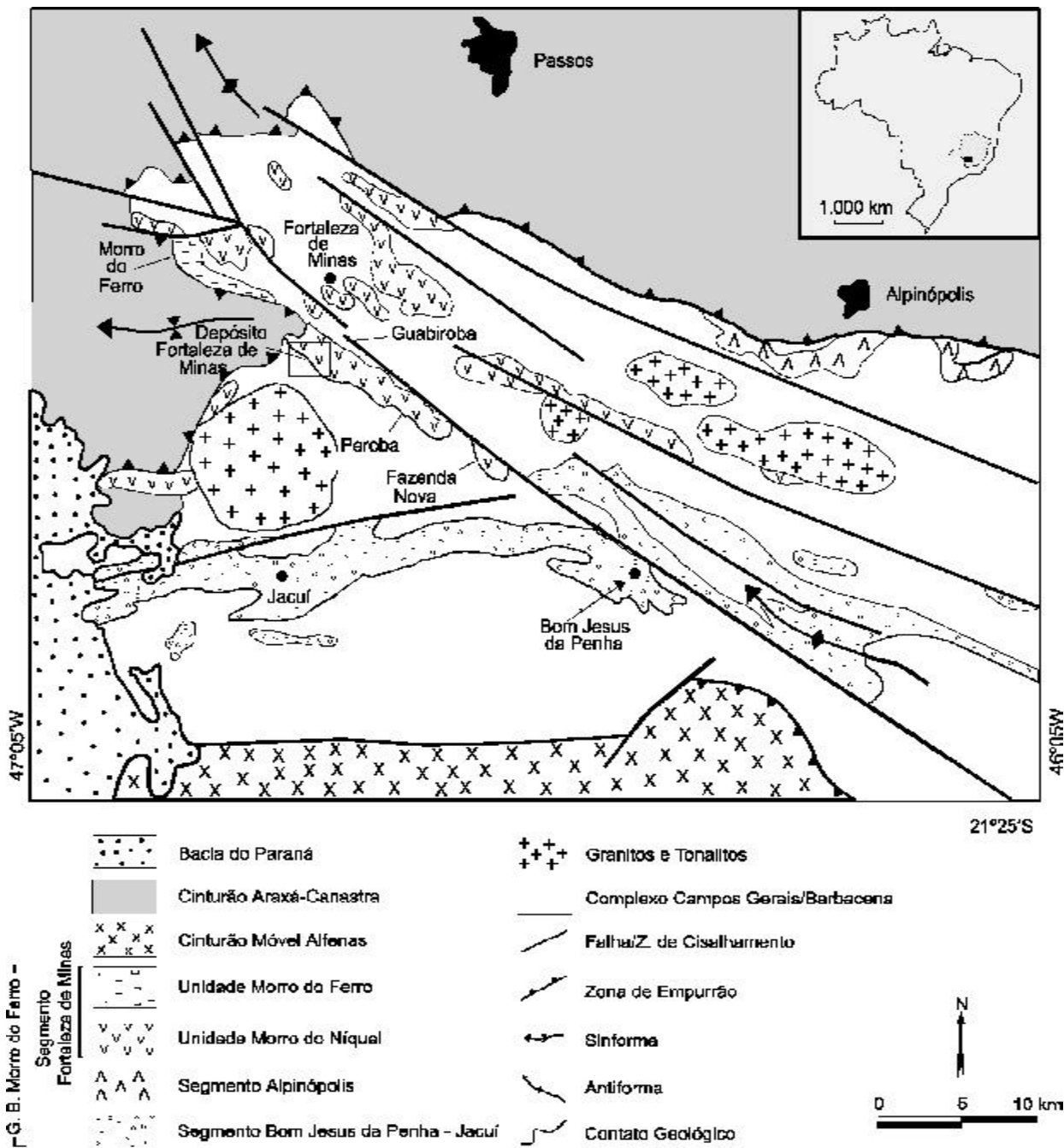


FIGURA 2. Mapa de localização do *Greenstone Belt* Morro do Ferro (GBMF) no sudoeste do Estado de Minas Gerais. Fonte: Brenner et al. (1990).

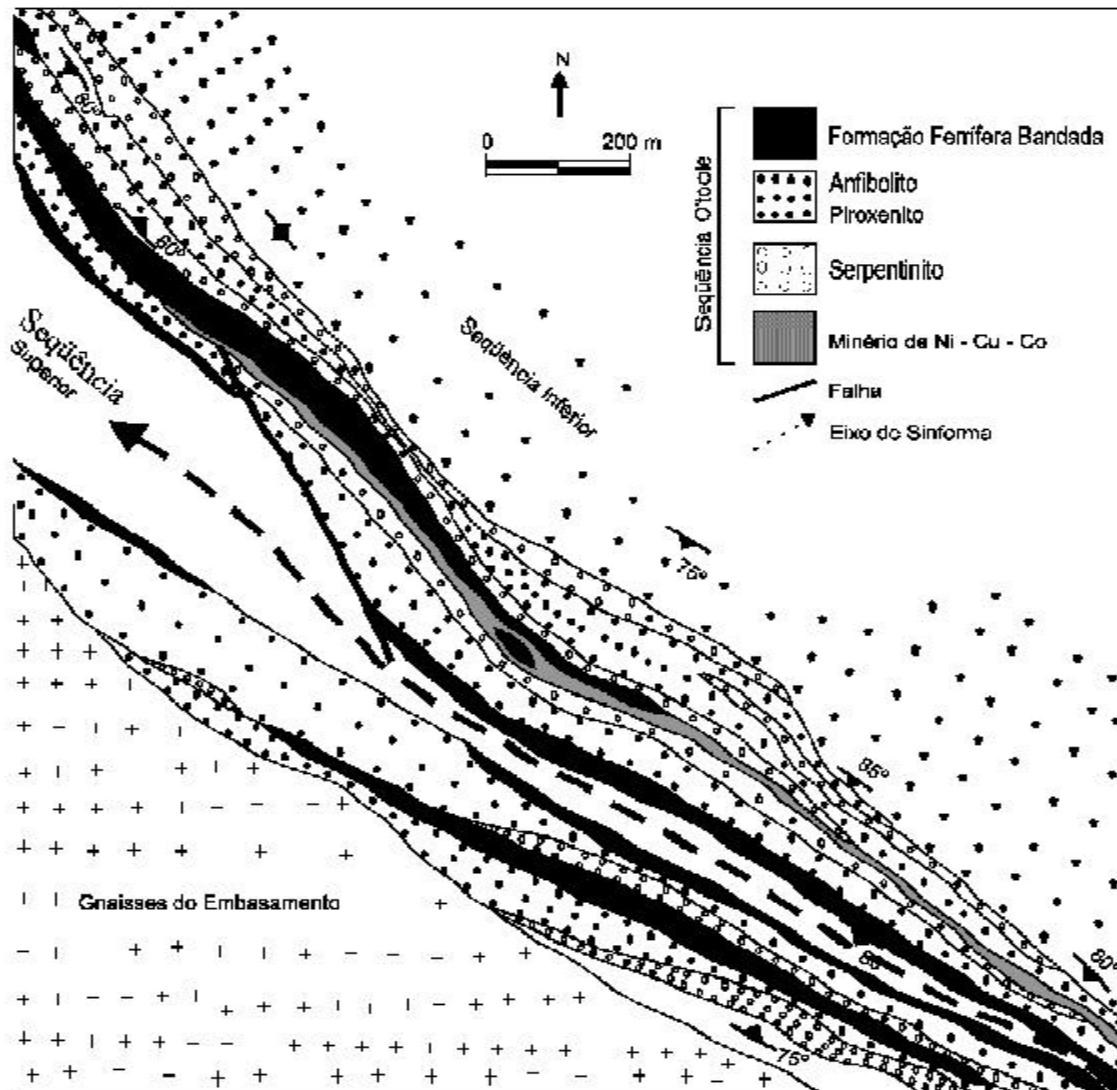


FIGURA 3. Mapa geológico simplificado da área do Depósito Fortaleza de Minas. Modificado de Brenner et al. (1990).

### FÁCIES ÓXIDO-SILICATO

A fácies óxido-silicato é caracterizada pela presença de magnetita. A magnetita ocorre principalmente em níveis alternados com quartzo+anfíbólio+clorita nos tipos bandados e, disseminada, nos interstícios dos minerais silicáticos, nos tipos de transição para a fácies silicato.

### Rocha Bandada

Os termos bandados apresentam-se caracteristicamente com coloração cinza-clara a cinza-esverdeada, subordinadamente escura, com granulometria fina a média. O micro, macro e mesobandamento são caracterizados pela alternância rítmica de níveis magnetíticos de coloração escura, contínuos, e níveis silicáticos compostos por ferro-actinolita, hornblenda, membros da série cummingtonita-grünerita, quartzo e, subordinadamente, clorita. As espessuras das bandas

oscilam de milímetros (microbandas) a centímetros (mesobandas) nas porções mais silicáticas, e submilimétrica a milimétrica (microbandas e microlaminações) nas porções contendo minerais sulfetados e óxidos. As microlaminações e mesobandas são plano-paralelas, muitas vezes difusas, onduladas ou levemente dobradas. O contato entre estes níveis é em geral brusco, mas muitas vezes existe gradação entre as bandas, dada pela presença de magnetita ocorrendo intersticialmente nos minerais silicáticos. Diversas gerações de fraturas afetam o bandamento principal da rocha. Essas descontinuidades, normalmente, estão preenchidas por remobilizações de carbonatos e sulfetos (pirrotita, calcopirita e pentlandita).

Ao microscópio, os termos bandados mostram textura granonematoblástica a granolepidoblástica, com porfiroblastos de anfibólios e porções com textura milonítica com anfibólios pisciformes, em regiões mais

deformadas. Orientação segundo uma direção é marcada por ripas de anfibólios + magnetita + clorita, anfibólios pisciformes e quartzo recristalizado (grãos recuperados com forte extinção ondulante). Mineralogicamente, são compostos principalmente por minerais da série cummingtonita-grunerita além de ferro-actinolita, hornblenda, magnetita, clorita, quartzo, carbonato, pirrotita, calcopirita e pentlandita. Podem ser subdivididos em duas variedades (subtipos), levando-se em consideração a predominância de ocorrência do tipo de anfibólio determinado em microsonda eletrônica com a magnetita. A primeira variedade é composta essencialmente por clinofanfibólios com alto teor de cálcio (ferro-actinolita e hornblenda-ferro-actinolítica) e a segunda, por clinofanfibólios com baixo teor de cálcio representados pelos membros da série cummingtonita-grunerita.

### **Rocha Não-Bandada**

O termo não-bandado é caracteristicamente homogêneo, com coloração cinza-esverdeada e granulometria média a fina. De maneira geral, destaca-se a ocorrência granular da magnetita envolta intersticialmente e aleatoriamente por minerais silicáticos, principalmente ferro-actinolita, hornblenda e membros da série cummingtonita-grunerita. Em alguns locais verifica-se uma orientação muito incipiente marcada por cristais de magnetita. Planos de fratura cortam a rocha e são preenchidos por remobilizações de sulfetos, principalmente pirrotita com calcopirita associada. Esta rocha pode ser interpretada como uma transição entre os termos mais bandados da fácies óxido-silicato e os tipos da fácies silicato.

Microscopicamente a rocha possui textura granonematoblástica, localmente caracterizadas por porfiroblastos octaédricos de magnetita em uma matriz silicática. Uma direção é marcada pelas orientações de ripas de anfibólios e anfibólios pisciformes, magnetita e palhetas de clorita. A rocha é composta por ferro-actinolita, membros da série cummingtonita-grunerita, hornblenda-ferro-actinolítica, clorita, magnetita, pirrotita e calcopirita.

### **FÁCIES SILICATO**

A fácies silicato é representada por subtipos de rochas caracterizadas pela presença de níveis compostos por diferentes tipos de anfibólios + clorita alternados com níveis quartzosos. Os subtipos possuem bandamento proeminente, com espessura das bandas variando de milímetros a centímetros. As bandas possuem coloração esverdeada e clara, e são constituídas por alternâncias rítmicas plano-paralelas de anfibólios, como ferro-actinolita, hornblenda ferro-actinolítica, ferro-hornblenda, cummingtonita-grunerita, e clorita com o quartzo.

Ao microscópio exhibe textura granonematoblástica média marcada por grãos de anfibólios e quartzo, nematogranoblástica em porções medianamente deformadas, até nematoblástica em porções muito deformadas, com desenvolvimento de anfibólios pisciformes. Mineralogicamente, é composta principalmente por actinolita, ferro-actinolita, hornblenda ferro-actinolítica, ferro-hornblenda, cummingtonita-grunerita, clorita, epidoto, quartzo, carbonatos, pirrotita, pentlandita e calcopirita.

## **RESULTADOS**

As análises de química mineral nos anfibólios foram realizadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Os valores dos óxidos foram recalculados para 100%, sendo os resultados consubstanciados na Tabela 1. A nomenclatura dos anfibólios utilizada é a recomendada pela Internacional Mineralogical Association (Hawthorne, 1981; Leake, 1978). O método utilizado para estimativa do  $Fe^{+3}$  foi o M=1-N-13 CNK. Para os anfibólios em geral encontrados utilizou-se o ferro total como sendo  $FeO$  ( $Fe^{+2}$ ) obtido por microsonda eletrônica.

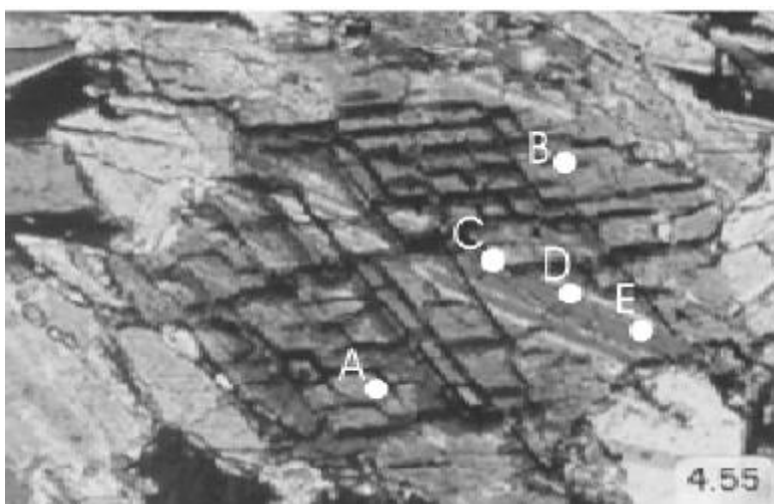
Os anfibólios representados quimicamente por análises de microsonda na fácies óxido-silicato variam composicionalmente de ferro-actinolita, hornblenda-ferro-actinolítica até cummingtonita. Por outro lado, os anfibólios da fácies silicato, são representados composicionalmente pela actinolita, ferro-actinolita, hornblenda-ferro-actinolítica, ferro-hornblenda, cummingtonita e grunerita (Fernandes, 1997). Fernandes (1997) descre-

veu texturalmente esses anfibólios da seguinte forma: (a) como grãos independentes ou monominerálicos de cummingtonita, grunerita, actinolita, actinolita, ferro-actinolita, hornblenda ferro-actinolítica e ferro-hornblenda nos litotipos; (b) como intercrescimentos de anfibólios de composição similar ou diferente (cummingtonita e ferro-actinolita) em um mesmo grão, separados por limite óptico (Foto 1); (c) como lamelas de exsolução de cummingtonita e ferro-actinolita (Foto 2).

Quimicamente, os pares de anfibólios nas formações ferríferas de Fortaleza de Minas, resultantes de exsolução, são principalmente ferro-actinolita e a cummingtonita (Figuras 4, 5 e 6). Essas feições texturais, oriundas de exsolução entre anfibólios, são reportadas também em outras formações ferríferas arqueanas e proterozóicas do Canadá e dos Estados Unidos por Bonnichsen (1969), Ross et al. (1969) e Immega & Klein (1976), que sofreram metamorfismo de grau médio a alto.

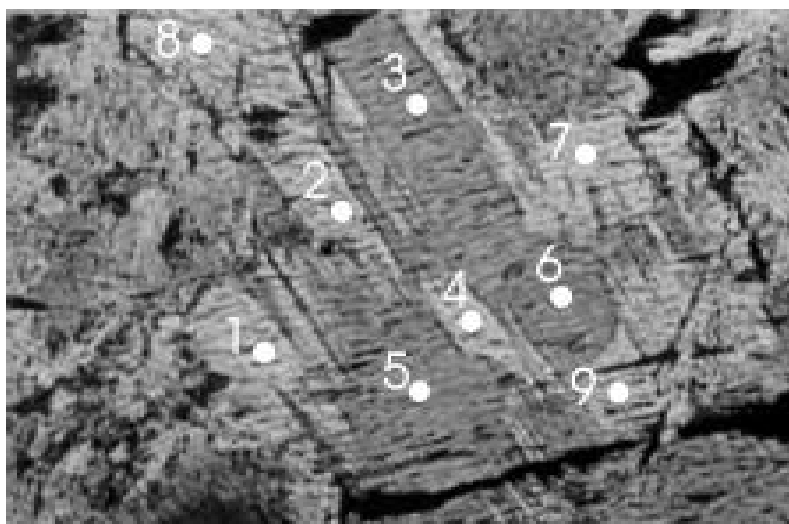
**TABELA 1.** Análises químicas de pares de anfibólios das formações ferríferas bandadas ( fácies óxido-silicato e silicato) relacionadas ao Depósito Fortaleza de Minas no *Greenstone Belt* Morro do Ferro (GBMF), obtidas em microsonda eletrônica. Os valores foram recalculados para 100 %.

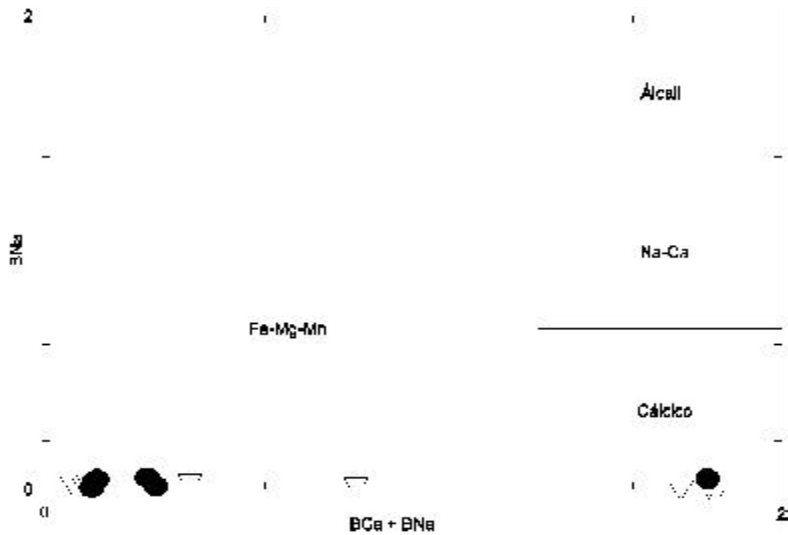
Análise	Mineral	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	CaO	MnO	FeO	BaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	Total
A	Fe-actinolita	51,90	0,01	0,37	0,00	7,19	11,03	0,62	26,53	0,16	0,17	0,03	1,96	100,00
B	Fe-actinolita	62,45	0,19	0,22	0,00	4,41	8,84	0,42	21,12	0,00	0,19	0,09	2,08	100,00
C	Cummingtonita	50,63	0,03	0,14	0,00	5,79	1,80	1,81	37,83	0,00	0,06	0,02	1,89	100,00
D	Cummingtonita	51,27	0,02	0,06	0,00	6,24	0,70	1,96	37,74	0,09	0,00	0,02	1,90	100,00
E	Cummingtonita	50,78	0,01	0,06	0,00	5,74	0,77	1,89	38,74	0,00	0,09	0,01	1,89	100,00
1	Cummingtonita	50,72	0,01	0,07	0,00	5,63	0,75	2,01	38,85	0,00	0,01	0,02	1,89	100,00
2	Cummingtonita	49,86	0,03	0,14	0,00	5,69	2,50	1,78	37,94	0,05	0,11	0,03	1,88	100,00
3	Fe-actinolita	51,84	0,00	0,40	0,04	6,76	10,52	0,64	27,72	0,05	0,06	0,02	1,95	100,00
4	Cummingtonita	50,77	0,00	0,23	0,00	6,08	5,17	1,12	34,38	0,00	0,08	0,06	1,91	100,00
5	Fe-actinolita	51,74	0,00	0,41	0,03	6,51	10,99	0,64	27,33	0,16	0,19	0,06	1,95	100,00
6	Fe-actinolita	52,16	0,03	0,25	0,00	7,09	10,94	0,69	26,81	0,00	0,08	0,00	1,96	100,00
7	Cummingtonita	50,87	0,01	0,12	0,00	5,99	0,69	2,04	38,24	0,04	0,07	0,03	1,90	100,00
8	Cummingtonita	50,76	0,01	0,06	0,00	6,04	0,72	1,98	38,44	0,07	0,00	0,03	1,89	100,00
9	Cummingtonita	50,85	0,02	0,03	0,01	6,06	0,81	2,02	38,31	0,00	0,00	0,03	1,90	100,00



**FOTO 1.** Fotomicrografia mostrando textura de exsolução entre a cummingtonita (porções mais claras, pontos C, D e E) e ferro-actinolita (porções mais escuras, pontos A e B), intercrescida em um único cristal. Aumento de 100X. Furo FMD-19, Transversal 700 Sul.

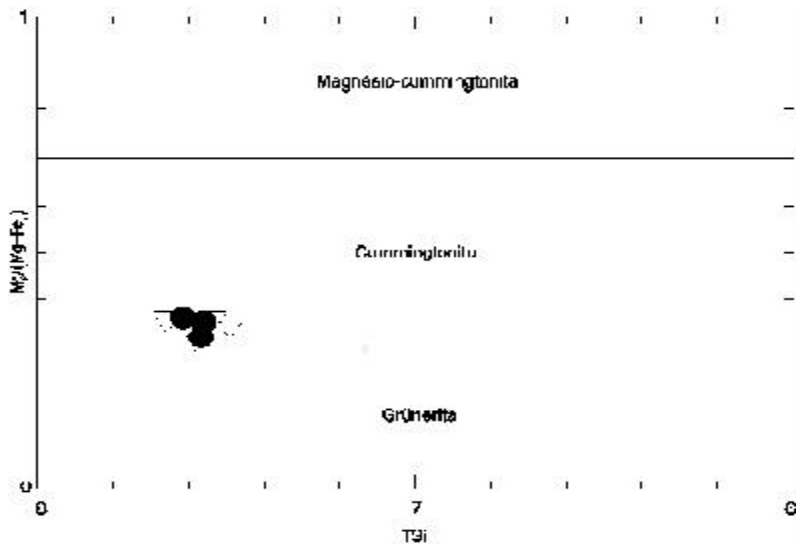
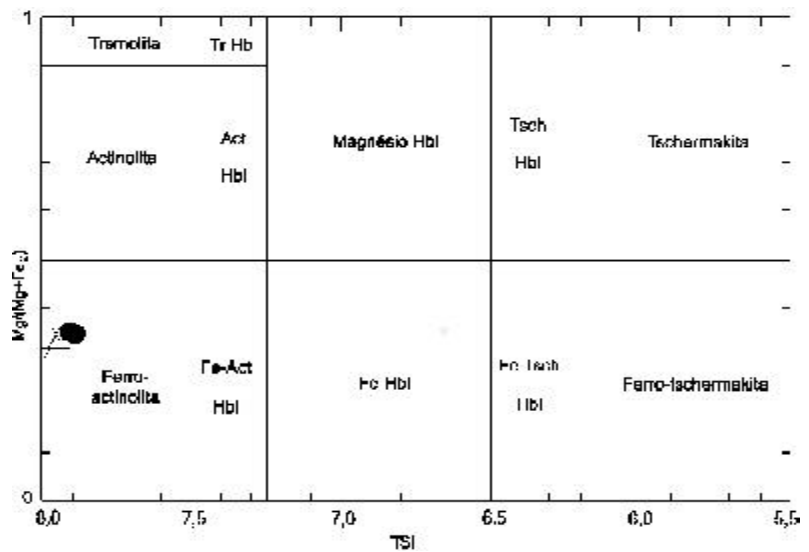
**FOTO 2.** Fotomicrografia mostrando textura de exsolução entre a cummingtonita (porções claras, pontos 1, 2, 4, 7, 8 e 9) e ferro-actinolita (porções escuras, pontos 3, 5 e 6). Aumento de 100X. Furo FMD-99, Transversal 200 Norte.





**FIGURA 4.** Diagrama classificatório dos anfibólios (álcali-anfibólios, anfibólios sódicos-cálcicos, anfibólios cálcicos e anfibólios ferro-magnesianos). Os círculos fechados representam as análises A, B, C, D e E. Os triângulos abertos representam as análises de 1 a 9.

**FIGURA 5.** Diagrama classificatório dos clinoanfibólios cálcicos. Os círculos fechados representam as análises A e B. Os triângulos abertos representam as análises 3, 5 e 6.



**FIGURA 6.** Diagrama classificatório dos clinoanfibólios ferro-magnesianos. Os círculos fechados representam as análises C, D e E. Os triângulos abertos representam as análises 1, 2, 4, 7, 8 e 9.



## DISCUSSÃO

No que concerne à evolução metamórfica regional, diversos autores reconheceram um ápice metamórfico mais antigo na fácies anfibolito superior a granulito para as rochas encaixante e do *Greenstone Belt* Morro do Ferro no sudoeste do Estado de Minas Gerais.

O ápice metamórfico foi responsável pelo aparecimento de texturas de exsolução entre clinoanfibólios cálcico-magnesianos (ferro-actinolita) e clinoanfibólios ferro-magnesianos (cummingtonita), caracterizados quimicamente por microsonda eletrônica (Tabela 1 e Figuras 4, 5 e 6). O retrometamorfismo gerou nas formações ferríferas uma paragênese mineral na fácies anfibolito médio a inferior, marcada por ferro-actinolita + hornblenda-ferro-actinolítica + cummingtonita + magnetita + quartzo na fácies óxido-silicato e actinolita + ferro-actinolita + hornblenda-ferro-actinolítica + ferro-hornblenda + cummingtonita e grünerita + quartzo na fácies silicato (Fernandes, 1997).

O estágio retrometamórfico tardio caracterizado como de baixo grau, é representado por processos metassomáticos em condições da fácies xisto-verde inferior, vinculado principalmente às superfícies de cisalhamento tardias de regime dúctil/rúptil e rúptil. As transformações mineralógicas tardias iniciam-se com a cloritização dos anfibólios, seguidas de epidotização incipiente e carbonatação (Fernandes, 1997).

Nas rochas do Grupo Araxá no entorno do GBMF, Zanardo et al. (1996a) reconheceram relações texturais e microestruturais de alto grau antes do final da instalação da foliação principal, formadas sob temperaturas superiores a 700° C, possivelmente tendo atingido valores superiores a 750° C e pressões da ordem de 12 kbar, ou até superiores. As principais evidências desse processo residem na constatação de que a foliação se amolda ao redor dos porfiroblastos de granada, feldspatos, cianita e estauroлита; na presença de granada helicítica com inclusões que definem foliação interna; a existência de cristais de anfibólios e filossilicatos, constituindo arcos poligonais em dobras intrafoliais; aparecimento de dobras intrafoliais com micas dobradas, sem ou com pouca recristalização; na transformação de biotita para muscovita nos septos; na triclinização dos feldspatos e recristalização do ortoclásio e na substituição do plagioclásio por escapolita.

Sobre a associação mineral gerada no auge do metamorfismo ocorrem reações retrógradas na fácies xisto-verde. As relações texturais desse estágio são marcadas pela substituição da biotita para muscovita/sericita ou cloritas e mais raramente para estilpnomelano (Zanardo et al., 1996a).

Estas mesmas temperaturas também foram encontradas por Zanardo et al. (1996b) em paragêneses minerais de rochas metaultramáficas e metamáficas interpretadas como de uma *mélange* ofiolítica na região de Bom Jesus da Penha-Jacuí-Conceição da Aparecida. As associações minerais desta seqüência representadas por olivina + ortopiroxênio + espinélio; olivina + ortopiroxênio + magnetita/ilmenita; ortopiroxênio + ilmenita/magnetita; olivina recristalizada; ortopiroxênio com exsolução de clinopiroxênio e ortopiroxênio com extinção ondulante, recuperação e recristalização sem desestabilização, teriam se formado em temperaturas superiores a 750° C, podendo ter atingido mais de 800° C (fácies anfibolito superior a granulito), com pressões aparentemente baixas a moderadas.

Para a demisturação de anfibólios, são necessárias temperaturas relativamente altas da ordem de 700 a 750°C ou mais, como reportados nos trabalhos experimentais de Robinson et al. (1982) e Oba & Nicholls (1986). Essa coexistência de anfibólios cálcico-magnesianos (principalmente actinolita e hornblenda) e clinoanfibólios ferro-magnesianos (cummingtonita) em solução sólida, ocorrem largamente em assembléias de rochas metamórficas e ígneas, especialmente às da fácies xisto-verde superior e anfibolito (Oba & Nicholls, 1986). Para Robinson et al. (1982) em todas essas paragêneses, representando temperaturas entre 400 e 750° C e pressões de água de 5 kbar, amplos espaços de miscibilidade são encontrados entre os dois tipos de anfibólios. Dessa forma, a cummingtonita apresentaria um máximo de 0,4 átomos de Ca em uma base de 23 oxigênios, coexistindo com um mínimo de 1,6 átomos de Ca-Mg (actinolita e/ou hornblenda na solução sólida). Isso é corroborado por Oba & Nicholls (1986), através de estudos experimentais no sistema cummingtonita (Mg<sub>50</sub>)-actinolita (Mg<sub>50</sub>)-plagioclásio (An<sub>0</sub>; An<sub>20</sub>; An<sub>40</sub>)-quartzo-água, que observaram imiscibilidade similar às encontradas por Robinson et al. (1982), porém de menor amplitude em temperaturas entre 700 e 750° C e pressão de água de 5 kbar (Figura 7). Essas texturas de exsolução entre anfibólios (cummingtonita e ferro-actinolita) nas formações ferríferas do GBMF, seriam portanto, resultados de uma solução sólida em temperaturas superiores a 700° C, na fácies anfibolito superior a granulito, com a exsolução catalisada pelo retrometamorfismo.

Dessa forma o metamorfismo da seqüência *greenstone* estaria coerente com o pico metamórfico na região, alcançando até a anatexia nas rochas ácidas, inclusive com processo de assimilação localizada das rochas máficas/ultramáficas.



- e arredores - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 32, 1982, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, 1982, p. 641-647.
6. CARVALHO, S.G. de; SOARES, P.C.; ANTONIO, M.C.; ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M.A.F. de. Geologia da Seqüência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 23, n. 1, p. 38-51, 1993.
  7. CARVALHO, S.G.; SOARES, P.C.; ANGELL, N. Os processos formadores e deformadores das concentrações de cobre, zinco e níquel nos terrenos *granito-greenstone* de Alpinópolis - MG. **Geociências**, v. 15, p. 9-39, 1996.
  8. CHOUDHURI, A.; SZABÓ, G.A.J.; EBERT, H.D. Feições estruturais e texturais dos derrames ultramáficos a norte e noroeste de Petúnia, sul de Minas Gerais. Salvador: Sociedade Brasileira de Geologia, **Ciências da Terra**, v. 7, p. 18-20, 1983.
  9. FERNANDES, N.H. **Caracterização petrográfica e química das formações ferríferas bandadas do Depósito Fortaleza de Minas em Fortaleza de Minas (MG)**. Rio Claro, 1997. 116 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências e Ciências Exatas, UNESP.
  10. FERNANDES, N.H.; CARVALHO, S.G. de; BRENNER, T.L.; ZANARDO, A. Caracterização geológica, petrográfica e química das formações ferríferas relacionadas com o Depósito Fortaleza de Minas no sudoeste de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 5, 1997, Penedo-Itatiaia. **Resumos Expandidos...** Penedo/Itatiaia: Núcleos São Paulo e Rio de Janeiro/Espírito Santo, 1997, v. 1, p. 412-413.
  11. FERNANDES, N.H.; CARVALHO, S.G. de; ZANARDO, A.; BRENNER, T.L. Metamorfismo das formações ferríferas bandadas do Greenstone Belt Morro do Ferro, Estado de Minas Gerais: uma abordagem utilizando química mineral de anfibólios. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 5, e CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 7, 1999, Porto Seguro. **Resumos Expandidos...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geoquímica, 1999, v. 1, p. 260-261.
  12. HAWTHORNE, F.C. Crystal chemistry of the amphiboles. In: VEBLEN, D.R.; RIBBLE, P.H. (Eds.) - Amphiboles: petrology and experimental phase relations. Mineralogical Society of America, **Reviews in Mineralogy**, v. 9A, p. 1-102, 1981.
  13. IMMEGA, I.P. & KLEIN, C. Mineralogy and petrology of some metamorphic Precambrian iron-formations in southwestern Montana. **American Mineralogist**, v. 61, p. 1117-1144, 1976.
  14. LEAKE, B.E. Nomenclature of amphiboles. **American Mineralogist**, v. 63, p. 1023-1052, 1978.
  15. OBA, T. & NICHOLLS, I.A. Experimental study of cumingtonite and Ca-Na amphibole relations in the system Cum-Act-Pl-Qz-H<sub>2</sub>O. **American Mineralogist**, v. 71, p. 1354-1365, 1986.
  16. ROBINSON, P.; SPEAR, F.S.; SCHUMACHER, J.C.; LAIRD, J.; KLEIN, C.; EVANS, B.W.; DOOLAN, B.L. Phase relations of metamorphic amphiboles: Natural occurrence and theory. Mineralogical Society of America, **Reviews in Mineralogy**, 9B, v. 1, p. 1-211, 1982.
  17. ROSS, M.; PAPIKE, J.J.; SHAW, K.W. Exsolution textures in amphiboles as indicators of subsolidus thermal histories. Mineralogical Society of America, **Special Paper**, v. 2, p. 275-299, 1969.
  18. SCHMIDT, W. **Die Geologie der Araxá Gruppe in Südwest Minas Gerais, Brasilien, unter besonderer Berücksichtigung des Grüstein-Gürtels von Fortaleza de Minas**. Freiburg (Alemanha), 1983. 134 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Universidade de Freiburg.
  19. SZABÓ, G.A.J. **Contexto geológico e petrologia das rochas metaultramáficas de Alpinópolis, MG**. São Paulo, 1989. 203 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
  20. SZABÓ, G.A.J. **Petrologia da suíte metaultramáfica da Seqüência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro na Região de sul a oeste de Alpinópolis, MG (Domínio Norte do Complexo Campos Gerais)**. São Paulo, 1996. 354 p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
  21. TEIXEIRA, N.A. **Geologia, petrologia e prospecção geoquímica da Seqüência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG)**. Brasília, 1978. 220 p. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
  22. TEIXEIRA, N.A. & DANNI, J.C.M. Petrologia das lavas ultrabásicas e básicas da Seqüência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, p. 209-220, 1979.
  23. TEIXEIRA, N.A.; GASPAR, J.C.; BRENNER, T.L.; CHENEY, J.T.; MARCHETO, C.M.L. Geologia e implicações geotectônicas do Greenstone Belt Morro do Ferro (Fortaleza de Minas, MG). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 17, p. 209-220, 1987.
  24. ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M.A.F. de; DEL LAMA, E.A. Geologia do Grupo Araxá na região de Passos - São Sebastião do Paraíso, sul de Minas Gerais. **Geociências**, v. 15, n. 1, p. 253-278, 1996 (a).
  25. ZANARDO, A.; OLIVEIRA, M.A.F. de; DEL LAMA, E.A.; CARVALHO, S.G. Rochas máficas e ultramáficas da Faixa Jacuí-Bom Jesus da Penha - Conceição da Aparecida (MG). **Geociências**, v. 15, n. 1, p. 279-297, 1996 (b).