GEOLOGIA DA SEQÜÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINÓPOLIS (MG)

SEBASTIÃO G. CARVALHO*, PAULO C. SOARES**, MARIA C. ANTÔNIO**
ANTENOR ZANARDO* e MARCOS A.F. OLIVEIRA*

ABSTRACT GEOLOGY OF THE ALPINÓPOLIS VOLCANO-SEDIMENTARY SEQUENCE, MINAS GERAIS. The Alpinópolis Belt is located in the southern part of the State of Minas Gerais. It is one of several meta volcano-sedimentary sequences of the Morro do Ferro Greenstone Belt. As a result of surface geological mapping, petrological studies and subsurface exploration work conducted on the Alpinópolis region, a group of four rock suites have been recognized. The most important features of these four rock suites can be summarized as follows: The first suite comprises (a) chlorite-actinolite-tremolite schists with spinifex texture and minor olivine pseudomorphous; and (b) serpentinites with variable proportions of actinolite-tremolite-chlorite-talc-olivine relics and hornblende schists. The combined evidence of mineral assemblages, preserved primary textures and trace element chemistry indicate that these rocks were originally peridotites and pyroxenites of komatiitic affiliation. The second suite consists of a variable assemblage of plagioclase-hornblende-actinolite-tremolite schists and amphibolites. The chemical and mineralogical features of this suite are consistent with a tholeiitic basalt origin. The third suite consists of metasedimentary rocks such as garnet-biotite schists, actinolite-tremolite-biotite schists, sillimanite-staurolite-biotite schists, garnet-antophyllite schists, quartzites and minor iron formation units. The schists are interpreted to be isochemically metamorphosed tuffaceous, argillaceous and impure Fe-Mg-carbonate sediments. The aforementioned supracrustal rocks have been intruded by a number of granitoid rocks that consist of quartz, sodic-plagioclase and biotite. Near to and at the contact with the ultramafic flows, marundite rocks are observed. The polycyclic tectonic-metamorphic and deformational processes which affected the area have given place to a complex, large scale structurally deformed framework and imprinted metamorphic patterns on the existing rock units and the associated Ni-sulphide ore bodies.

Keywords: Metaultramafic rock, komatite, amphibolite, metamorphism.

RESUMO A Seqüência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis é uma entre várias outras seqüências correlatas no Sudoeste do Estado de Minas Gerais, que integram o *Greenstone Belt* Morro do Ferro. Essas seqüências, como um todo, encontram-se embutidas tectonicamente por falhas ou estruturas sinformais em um embasamento granítico-migmatítico-gnáissico, regionalmente denominado de Complexo Campos Gerais. As litologias que compõem a seqüência foram reunidas em quatro suítes distintas, com base nos resultados de mapeamento geológico, estudos petrológicos e trabalhos de sondagens. Os fatores mais importantes das quatro suítes estão sumariados abaixo. A primeira suíte corresponde a rochas metaultramáficas, constituídas por clorita-tremolita xistos com pseudomorfos de olivina e textura *spinifex*, serpentinites, talco xistos e hornblenda xistos. A associação mineralógica, restos de texturas primárias e o quimismo dos elementos menores indicam que essas rochas foram originalmente peridotitos e piroxenitos de filiação komatiítica. A segunda suíte consiste de uma associação variável de plagioclásio, hornblenda, actinolita, clorita e tremolita, gerando xistos e anfibolitos. Os dados mineralógicos e químicos dessa suíte são consistentes com uma origem a partir de basaltos toleíticos. A terceira suíte é formada por rochas metassedimentares tais como: granada-biotita xistos, actinolita-tremolita-biotita xistos, sillimanita-estaurólita-biotita xistos, granada-antofilita xistos, quartzitos, clinozoisita-actinolita *fels* e mais raramente formações ferríferas. Essas rochas são interpretadas como produtos metamórficos de sedimentos pelíticos, tufáceos e/ou margosos. Completando o quadro litológico, aparecem os granhóides intrudidos na seqüência supracrustal acima mencionada. Esses granitóides possuem composição trondhjêmica a monzogranítica e são compostos basicamente por quartzo, plagioclásio ácido (albita/oligoclásio), biotita e em alguns casos feldspato potássico. Localmente, no contato com as rochas ultramáficas, ocorrem concentrações de corindon, gerando rocha denominada de marundita. Os eventos tectônico-metamórficos, de caráter policíclico, que atuaram na área resultaram numa geologia complexa, afetando a distribuição e a configuração espacial dos corpos rochosos e de minérios de Ni sulfetados associados.

Palavras-chave: Rocha metaultramáfica, komatiito, anfibolito, metamorfismo.

INTRODUÇÃO A existência de seqüências vulcano-sedimentares tipo *greenstone belt* no sudoeste do Estado de Minas Gerais foi descrita pela primeira vez por Teixeira (1978), quando definiu o cinturão vulcano-sedimentar Morro do Ferro, nas imediações da cidade de Fortaleza de Minas. Posteriormente, trabalhos de vários outros autores, entre os quais se destacam Teixeira & Dani (1979), Soares *et al.* (1990), Carvalho & Batista (1983), Carvalho *et al.* (1982), Choudhuri *et al.* (1982), Morales *et al.* (1983), Marchetto *et al.* (1984), Teixeira *et al.* (1987) e Szabó (1989), permitiram uma melhor compreensão da distribuição local e regional segmentada desses cinturões, segundo várias faixas estreitas e descontínuas, balizadas por direção geral WNW-ESE, além de caracterizarem, em parte, os litotipos, metamorfismo e quimismo deste cinturão.

Este trabalho reporta-se a estudos geológicos e petrográficos realizados em uma das faixas das seqüências vulcano-sedimentares tipo *greenstone belt* localizada a sul da cidade de Alpinópolis e aqui designada como Seqüência Vulcano-Sedimentar Alpinópolis.

CONTEXTO GEOLÓGICO A Seqüência Vulcano-Sedimentar Alpinópolis é uma entre várias outras unidades correlatas que integram o Cinturão Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, nas proximidades das cidades de Fortaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí e Nova Rezende, todas localizadas no sudoeste do Estado de Minas Gerais.

De maneira geral, estas seqüências constituem entidades alóctones que se encontram embutidas tectonicamente, por falhas ou estruturas sinformais, em um embasamento

* Departamento de Petrologia e Metalogenia, Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, Av. 24-Q, 1515, CEP 13506-900, Rio Claro, SP, Brasil

** Departamento de Geologia, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil

*** Bolsista CNPq, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, Caixa Postal 1348, CEP 05422-970, São Paulo, SP, Brasil

granítico-migmatítico-gnaíssico conhecido como Complexo Campos Gerais, correspondendo à margem tectonizada e cavalgada pelo Grupo Araxá/Canastra, do Cráton do São Francisco, cujo limite cratonizado está a cerca de 100 km a norte (Soares *et al.* 1990). A norte, a exposição destes terrenos tipo *gneiss-granito-greenstone belt* é delimitada pelo Grupo Araxá/Canastra; a oeste, pelo Grupo Araxá/Canastra e sedimentos carboníferos da Bacia do Paraná; e, a sul, pelo Complexo Varginha- Guaxupé. Localmente, entre o Complexo Campos Gerais e o Grupo Araxá/Canastra afloram rochas atribuídas ao Grupo Bambuí (Teixeira *et al.* 1987) ou à sequência metassedimentar de Carmo do Rio Claro (Heilbron *et al.* 1987, Simões *et al.* 1988), como nos arredores de Carmo do Rio Claro (Fig. 1).

Nesse contexto, a Sequência Vulcano-Sedimentar Alpinópolis é representada por quatro conjuntos litológicos principais, denominados de unidades metaultramáfica, metamáfica, metassedimentar e de intrusivas ácidas.

Com exceção da última unidade, as demais hospedam concentrações de sulfeto (principalmente pirita e pirrotita; subordinadamente calcopirita, pentlandita e esfalerita), que podem formar corpos mineralizados a Ni-Fe de até quatro metros de espessura (Carvalho 1990).

UNIDADE METAULTRAMÁFICA A unidade metaultramáfica é composta por rochas diversas tais como clorita tremolita/actinolita xisto, serpentinitos, talco xistos e hornblenda xistos.

Figura 1 - Carta geológica dos arredores de Fortaleza de Minas e Alpinópolis (MG)

Figure 1 - Geologic map of Fortaleza de Minas and Alpinópolis vicinity, Minas Gerais

O litotipo clorita-tremolita/actinolita xisto é predominante nesta unidade e constitui os maiores corpos rochosos mapeados na área (Fig. 2).

Embora não seja possível discriminá-las em mapa, sob essa designação ocorrem variações litológicas que podem ser distinguidas tanto pela sua mineralogia, quanto pelos seus aspectos texturais. A figura 3, que corresponde a perfis de furos de sondagens realizados na área, mostra, em parte, a individualização desses vários litotipos dentro do pacote vulcano-sedimentar. Nos clorita-tremolita/actinolita xistos, ocorrem ainda quantidades variadas localmente importantes de serpentina (antigorita e crisotila, Carvalho 1990), talco, carbonato e olivina, que podem modificar em alguns pontos a nomenclatura do referido litotipo. Com relação aos aspectos texturais, destaca-se a presença de pseudomorfos de olivina (agregado de serpentina, óxidos e, às vezes, talco ou clorita) e da textura *spinifex*.

Litotipos com essas características ocorrem principalmente nas porções nordeste e noroeste da área. Nos corpos localizados ao sul, essas feições são menos comuns, e as litologias se enriquecem em clinopiroxênio (endiopsídio). A textura *spinifex* pseudomorfizada é marcada por cristais aciculares de actinolita e/ou tremolita, clorita e, secundariamente, por hornblenda ou actinolita (Prancha 1 - Fotomicrografia 1). A olivina reliquia forma cristais corroídos irregulares a ovóides e é constituída, principalmente, por crisotila e hialosiderita, e a clorita por penina e clinocloro (Prancha 1 - Fotomicrografia 2) (Carvalho 1990).

A composição química dessas rochas (Tab. 1a e 1b, Figs. 4 e 5), suas texturas, as relíquias de sua mineralogia pretérita e os correspondentes produtos de transformação metamórfica (Tab. 2) sugerem origem a partir de vulcanismo komatiítico, compondo uma sucessão de derrames de lava ultramáfica (com topos definidos por fácies com textura *spinifex*), intercalados em pacotes (meta) sedimentares (Furos 8 e 9, Fig. 3). Os dados químicos revelam que o litotipo "clorita-actinolita/tremolita xisto com pseudomorfos de olivina" é o termo menos diferenciado dentro do campo piroxenito-peridotito komatiítico (Figs. 4, Naldrett & Turner 1977).

Os litotipos com textura *spinifex* pseudomórfica ocupam

porções semelhantes no diagrama, com leve deslocamento em direção ao campo dos piroxenitos komatiíticos, enquanto os litotipos com clinopiroxênio representam os termos mais diferenciados, posicionando-se no campo dos piroxenitos komatiíticos.

Foram mapeados 12 corpos de serpentinitos, com dimensões máximas de 500 m de comprimento por 100 m de largura, alongados segundo a direção NW a NNW e rotacionando, localmente, para a direção WNW, que corresponde ao padrão regional. Em termos mineralógicos, esses corpos podem ser subdivididos em pelo menos dois litotipos. O primeiro e mais abundante equivale a clorita-tremolita serpentinito (Prancha 2 - Fotomicrografia 3) e o segundo a carbonato serpentinito (Prancha 2 - Fotomicrografia 4), sendo que em ambos os tipos é possível observar restos de olivinas. Nos dois litotipos, o mineral de serpentina dominante é a lizardita, enquanto o anfibólio corresponde à tremolita e secundariamente à hornblenda (Carvalho 1990). Os minerais de clorita são representados essencialmente por clinocloro. A composição mineralógica dessas rochas, suas transformações metamórficas (Tab. 2) e seu posicionamento espacial (Figs. 2, 3 e 6) permitem supor que originariamente corresponderiam a derrames piroxeníticos e/ou peridotíticos komatiíticos.

Quimicamente (tabelas 1a e 1b), são rochas enriquecidas em MgO e empobrecidas em SiO₂, Al₂O₃, CaO e TiO₂ (Figs. 4 e 5), plotando-se no diagrama de Jensen (1976 in Viljoen *et al.* 1982) (Fig. 5A), posicionam-se no campo dos komatiitos peridotíticos e piroxeníticos. Em diagrama de Viljoen *et al.* (1982) (Fig. 5B), posicionam-se na parte superior do campo dos komatiitos.

Corpos de talco xistos ocorrem dispersos na área, dos quais 20 puderam ser individualizados no mapa geológico. São mais abundantes e possantes na porção sul da área, onde atingem dimensões de até trezentos metros de comprimento por cerca de cinquenta a cem metros de largura, com formato alongado segundo a direção regional NNW a NW-SE.

Mineralogicamente, além de talco, podem ocorrer proporções variadas de clorita, actinolita/tremolita e opacos (especialmente magnetita) (Tab. 2, Prancha 2 - Fotomicrografia 5).

Prancha 1 - Fotomicrografia 1. Textura *spinifex* dada por cristais prismáticos de tremolita/actinolita com aspecto de pluma, no conjunto exibindo estrutura radial. Minerais com coloração clara a levemente cinza, correspondem a tremolita/actinolita enquanto os que se apresentam com coloração cinza escura são predominantemente clorita. Nicóis cruzados. **Fotomicrografia 2.** Núcleos mais preservados de olivina, sendo substituídos por serpentina das bordas para o centro. Ocupando as fraturas entre pseudomorfos de olivina ou ainda na própria olivina, ocorrem minerais opacos com predominância de magnetita. Secundariamente, há a presença de clorita e talco. OL = olivina, SP - serpentina. Nicóis paralelos

Chart 1 - Photomicrograph 1. Spinifex texture consisting of prismatic crystals of oriented tremolite - actinolite. White to light-gray colored minerals are tremolite and actinolite whereas dark-gray colored minerals are chlorite. Crossed nicols. **Photomicrograph 2.** Olivine crystals with a preserved nucleus and whose edges have been replaced by serpentine. Opaque minerals include magnetite either inside the olivine crystals or filling fractures between pseudomorphs after olivine. Minor secondary minerals include chlorite and talc (OL = olivine, SP = serpentine). Plain light

Figura 2 - Mapa geológico da área de Ribeirão da Conquista

Figure 2 - Geologic map of the Ribeirão da Conquista area

A origem desses litotipos é interpretada como possivelmente ligada a processos de transformação metamórfica de rochas komatiíticas. As relações de contatos em superfície entre este litotipo com metaperidotitos/metapiroksenitos (Figs. 2) e em profundidade (Figs. 3 e 6) parecem corroborar esta interpretação.

Corpos de hornblenda xistos não puderam ser mapeados

em superfície, mas foram detectados em furos de sondagens (Fig. 3, F01 e F02). Mineralogicamente, são constituídos por hornblenda, augita e titanita, além de outros minerais secundários (Tab. 2, Prancha 2 - Fotomicrografia 6) (Carvalho 1990). Quimicamente, apresentam-se como os termos mais diferenciados da unidade metaultramáfica, colocando-se no campo dos komatiítos basálticos (Figs. 4 e 5).

Figura 3 - Perfis litológicos das sondagens realizadas na Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG)
Figure 3 - Lithologic record from diamond drilling across the Volcanosedimentary Sequence of Alpinópolis, Minas Gerais

*Tabela 1a -Análise química dos elementos maiores e traços em algumas rochas da Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG), área de Ribeirão da Conquista (10 análises realizadas pelo laboratório da GEOSOL). Para dosagem dos elementos maiores, foi utilizado o método de espectrofotometria de absorção atômica e para os elementos menores e traços o método de espectrometria de plasma ICP. * ppm*

Table 1a - Major and trace element content in rocks from the Volcanosedimentary Sequence of Alpinópolis at Ribeirão da Conquista, Minas Gerais. (Major element analysis by AAS and trace elements analysis by ICP were undertaken by Commercial laboratory of GEOSOL)

Amostra	F01- 29,75m	F06- 24,0m	F07- 35,95m	F08- 77,90m	F09- 59,40m	F10- 47,0m	RC-5B	RC- 510	F01- 163,50m	F06- 57,90m
SiO ₂ %	54,20	55,00	53,00	46,70	50,60	45,90	52,60	43,60	43,90	40,60
TiO ₂ %	1,20	0,32	0,44	0,42	0,38	0,98	0,66	0,43	0,09	0,27
Al ₂ O ₃ %	14,40	2,20	2,70	5,20	4,30	6,10	4,00	5,20	0,63	3,80
Fe ₂ O ₃ %	2,70	6,20	2,30	5,50	4,00	6,90	4,00	9,70	8,20	8,80
FeO %	6,36	2,45	5,06	5,78	5,78	4,62	6,50	4,91	1,73	2,89
MnO %	0,17	0,09	0,19	0,20	0,20	0,07	0,21	0,20	0,18	0,16
MgO %	7,00	27,20	16,50	23,40	19,70	22,40	15,00	26,80	35,20	33,50
CaO %	9,90	1,80	17,80	7,80	9,80	8,10	14,90	1,60	2,50	1,80
Na ₂ O %	2,90	0,03	0,36	0,30	0,36	0,10	0,48	0,09	0,04	0,06
K ₂ O %	0,79	0,01	0,13	0,02	0,11	0,07	0,24	0,04	0,01	0,01
P ₂ O ₅ %	0,12	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
H ₂ O ⁻ %	0,05	0,41	0,08	0,08	0,08	0,13	0,32	0,54	0,06	0,09
H ₂ O ⁺ %	0,14	3,21	0,51	3,62	2,51	3,76	1,17	5,91	6,95	7,31
CO ₂ %	0,10	0,30	0,75	0,20	1,40	0,10	0,10	0,25	0,20	0,20
S %	0,04	0,54	0,16	0,05	0,16	0,02	0,02	0,01	0,11	0,03
Total %	100,07	99,81	100,13	99,32	99,43	99,30	100,25	99,33	99,85	99,57
*Co	81	200	76	114	97	130	114	124	81	135
*Cr	410	2000	700	3200	3200	3900	395	5000	2040	1560
*Ni	144	3300	640	1600	1600	1300	700	1140	1480	2600
*V	310	142	300	240	290	280	370	164	80	230
*Cu	50	200	635	30	61	104	565	28	18	6
*Pb	5	3	8	8	6	12	19	10	8	12
*Zn	84	74	258	44	66	110	94	176	56	72
*Li	27	9	11	<5	7	16	13	<5	<5	<5
*B	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
*Ba	79	<20	<20	22	25	<20	<20	<20	<20	<20
*Sr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
*Zr	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
*Y	32	16	26	23	23	22	33	16	14	18

UNIDADE METAMÁFICA Esta unidade é composta exclusivamente por anfibolitos e xistos básicos. Ocorrem principalmente na parte leste da área, onde foram discriminados catorze corpos, com dimensões máximas de 1.000 m de comprimento por 100 m de largura. Suas formas alongadas são condicionadas pela direção NW a NNW. Os estudos microscópicos revelaram a possibilidade de subdividir essa unidade em dois litotipos distintos, caracterizados como anfibolito e plagioclásio-hornblenda-actinolita/tremolita xisto (Carvalho 1990).

O anfibolito é constituído essencialmente por hornblenda, comumente alterando-se para actinolita. O segundo litotipo apresenta como minerais essenciais, hornblenda, actinolita e plagioclásio, representado por andesina/oligoclásio.

Localmente, observam-se concentrações de biotita que chegam a representar 40% do total da rocha. A mineralogia desses litotipos e suas transformações metamórficas (Tab. 3 A) sugerem como protólitos rochas basálticas, de composição toleítica. As análises químicas (Tab. 1) revelam que esses litotipos, dentre os demais, são os que apresentam maiores

teores de SiO₂, TiO₂, K₂O, Al₂O₃ e menores teores de MgO, Ni e Co (Figs. 4), apontando para origem a partir de rochas basálticas toleíticas (Figs. 4 e 5).

UNIDADE METASSEDIMENTAR A unidade metassedimentar ocorre intercalada e em íntima associação com as rochas metavulcânicas, apresentando-se com dimensões variadas, que vão desde alguns centímetros de espessura (em furos de sondagens) até mais de 900 m de comprimento por 400 m de largura, em superfície, como é o caso para a porção norte-nordeste (Fig. 2) da área mapeada. Apresenta variada associação mineralógica, constituindo litotipos diversos, não-discriminados no mapa geológico, no qual foram reunidos como metassedimentos e quartzitos. Os metassedimentos correspondem a granada-biotita xistos; actinolita/tremolita-biotita xistos; estauroлита-sillimanita-biotita xistos (Prancha 3 - Fotomicrografia 7); granada-antofilita xistos (Prancha 3 - Fotomicrografia 8); e clinozoisita-actinolita *fels* (Prancha 3 - Fotomicrografia 9). Cabe ressaltar que os actinolita/

*Tabela 1b-A análise química dos elementos maiores e traços em algumas rochas da Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG), área de Ribeirão da Conquista (13 análises realizadas pelo laboratório da British Petroleum). Para dosagem dos elementos maiores, foi utilizado o método de espectrofotometria de absorção atômica e para os elementos menores e traços o método de espectrometria de plasma ICP. FeO = ferro total; * ppm*

Table 1 b - Major and trace element content in rocks from the Vblcanosedimentary Sequence of Alpinópolis at Ribeirão da Conquista, Minas Gerais. (Major element analysis by AAS and trace elements analysis by ICP were undertaken by Commercial laboratory of British Petroleum in Rio de Janeiro)

Amostra	F01-56,00m	F01-76,00m	F01-154,40m	F06-42,00m	F08-48,20m	F08-64,30m	F09-32,40m	F09-76,50m	F09-81,70m	F01-165,50m	F01-190,00m	F06-33,75m	F01-205,00m
SiO ₂ %	54,81	55,62	51,77	49,03	44,37	44,86	49,99	48,11	50,36	40,94	38,23	40,94	59,85
TiO ₂ %	0,70	1,00	0,60	0,60	0,50	0,50	0,30	0,60	0,40	0,08	0,08	0,12	0,90
Al ₂ O ₃ %	4,90	12,80	4,00	4,80	5,70	6,40	4,40	5,90	4,60	0,85	0,80	0,83	17,20
FeO %	14,40	19,00	13,50	13,00	12,90	13,90	9,90	12,90	9,40	11,50	13,00	13,30	8,40
MnO %	0,22	0,22	0,21	0,17	0,13	0,17	0,18	0,17	0,17	0,08	0,08	0,08	0,17
MgO %	11,70	1,70	14,70	16,20	22,50	23,50	20,10	19,40	21,30	34,30	32,00	32,20	3,4
CaO %	11,50	4,70	11,80	10,20	6,10	5,90	9,30	7,00	6,20	0,50	0,60	0,50	2,30
Na ₂ O %	2,70	6,60	2,0	2,00	1,60	2,00	2,30	2,10	1,50	1,30	1,60	1,70	6,60
K ₂ O %	0,14	0,61	0,06	0,20	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	1,20
P ₂ O ₅ %	0,05	0,16	0,07	0,07	0,01	0,07	0,05	0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,02
PPC %	0,54	0,61	0,44	2,80	5,05	5,20	2,09	2,82	3,33	10,33	10,17	10,45	2,21
S %	0,05	0,42	0,05	0,28	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,21	0,15	0,05	0,27
Total %	101,71	103,44	99,20	99,35	98,97	102,61	98,72	99,16	97,42	100,16	96,78	100,24	102,52
*Co	72	50	80	89	93	102	84	90	80	144	124	114	65
*Cr	483	26	2246	1501	2254	2569	1482	2194	1996	1069	905	813	974
*Ni	83	480	25	510	360	400	200	126	360	3000	2530	2080	390
*V	201	39	177	131	184	195	114	172	132	24	35	32	160
*Cu	19	51	5	49	5	5	25	29	11	12	46	24	54
*Pb	15	41	86	15	35	15	35	15	15	15	15	15	61
*Zn	144	211	173	111	70	85	65	87	85	211	96	282	121
*Li	11	57	10	31	22	8	2,5	14	2,5	14	24	22	100
*B	66	65	60	67	54	74	52	39	29	178	140	117	128
*Ba	72	236	15	5	5	5	12	20	5	5	5	5	322
*Sr	64	180	54	68	79	87	116	102	84	29	25	31	299
*Zr	36	84	40	37	36	34	18	33	28	5	5	5	152
*Y	10	19	9	9	7	7	7	11	10	2,5	2,5	2,5	25

tremolita-biotita xistos e clinozoisita-actinolita *fels* podem tratar-se de derrames básicos fortemente modificados por processos metassomáticos e tectono-metamórficos. Os quartzitos, na sua maioria, respondem por rochas monomineralicas a quartzo. Localmente, pode ocorrer alternância cíclica de leitos quartzosos e hematíticos, caracterizando possíveis formações ferríferas, sendo que os ortoquartzitos podem ser veios de quartzo cisalhados a temperaturas superiores a 300°C a altas taxas deformacionais e na presença de H₂O.

Em termos mineralógicos, os metassedimentos apresentam como minerais essenciais proporções variadas de biotita, plagioclásio, almandina, clorita, sillimanita, estauroilite, antpfilite, quartzo, actinolite e clinozoisita e, acessoriamente, sericita, epidoto, apatita, espinélio e titanita (Tab. 3B). Com base nos minerais presentes e no contexto geológico, esses litotipos foram tentativamente interpretados como derivados de rochas sedimentares pelíticas-aluminosas, com contribuição tufácea e/ou carbonática.

INTRUSIVAS ÁCIDAS Os litotipos incluídos nessa unidade correspondem essencialmente a granitóides que ocorrem como corpos lenticulares posicionados ao longo de zonas de falhas e que, na porção nordeste da área, atingem dimensões máximas de 400m de comprimento por 25m de largura. Na parte sudoeste da área, foram individualizados, no campo, nove corpos granitóides, mas os trabalhos geológicos de detalhe (trincheiras, poços e sondagens) mostram que infiltrações de granitóides de menor porte são muito frequentes por toda a área.

São rochas constituídas essencialmente por quartzo, plagioclásio e biotita, podendo ser hololeucocráticas, localmente. Nos contatos com litotipos ultrabásicos, desenvolve-se,

muitas vezes, uma mineralogia à base de turmalinas, quartzo, feldspato, mica (margaritas) e coríndon, constituindo rochas denominadas de marunditos.

CONCENTRAÇÕES SULFETADAS Os corpos sulfetados que se hospedam nas rochas da Sequência Vulcano-Sedimentar Alpinópolis são do tipo estratiforme com espessura média de um metro, podendo, localmente, chegar a quatro metros, em concentrações do tipo maciço, semi-macioso e disseminado.

A associação de minerais de minério que compõem esses níveis sulfetados é relativamente simples, constituindo-se em essência de pirrotita, pirita, esfalerita, pentlandita e calcopirita, sendo os dois primeiros dominantes e, não raro, representando a totalidade de sulfetos. Além de sulfetos, ocorre ainda uma associação de óxidos formada principalmente por ilmenita, rutilo, magnetita e hematita (Carvalho 1990).

METAMORFISMO A reconstituição detalhada da evolução geológica da Sequência Vulcano-Sedimentar Alpinópolis está longe de ser alcançada. A atuação dos eventos tectono-metamórficos, com caráter policíclico regional, resultou em uma geologia local excepcionalmente complexa, afetando a distribuição e configuração espacial dos litotipos (Figs. 2 e 5). Para Soares *et al* (1990), a área estudada foi palco de pelo menos quatro fases de deformação, deixando impressas nas rochas três foliações distintas, além de provocar o surgimento generalizado de falhamentos e zonas de cisalhamentos com orientações diversas.

Por esta razão, é difícil associar os eventos deformativos regionais a seus respectivos eventos metamórficos e consequentes mobilizações de elementos. O que se observa com relativa segurança é que as associações mineralógicas e suas

Tabela 2 - Mineralogia e transformações metamórficas na unidade metaultramáfica

Table 2 - Mineralogy and metamorphic changes of the metamorphosed ultramafic unit

UNIDADE METAULTRAMÁFICA/ METAULTRABÁSICA			
LITOTIPO	VARIAÇÃO MINERALÓGICA	TRANSFORMAÇÕES METAMÓRFICAS MAIS FREQUENTES NOS LITOTIPOS	POSSÍVEL ROCHA ORIGINAL
Clorita-Tremolita/ Actinolita Xisto com pseudomorfos de Olivinas	Act/Tremolita = 40-80% Serpentina = 10-50% Clorita = 0-25% Opacos = 5-10% Talco = 0-4% Carbonato = 0-3% Olivina = 0-3%	↗Serpentina ↗Talco Olivinas → Act/Tremolita ↘Clorita ↘Opacos Actinolita → Carbonato	Peridotitos
Clorita -Tremolita/ Actinolita Xisto com textura Spinifex	Act/Tremolita = 65-80% Clorita = 15-30% Opacos = 3-10% Olivinas = 0-2%	↗Act/Tremolita Olivinas ↘ ↘Clorita	Peridotitos
Clorita -Tremolita/ Actinolita Xisto com Clinopiroxênio	Act/Tremolita = 50-90% Clinopiroxênio = 10-45% Clorita = 0-15% Titanita = 0-5% Opacos = 0-5% Carbonato = 0-3% Epidoto = traços	Clinopiroxênio ↗Act/Tremolita ↘Clorita	Piroxênitos
Serpentinito	Serpentina = 30-90% Act/Tremolita = 0-40% Clorita = 0-18% Opacos = 5-15% Carbonato = 0-12% Olivina = 0-5% Talco = 0-1% Clinopiroxênio = 0-1%	↗Talco ↗Act/Tremolita Olivinas ↘ ↘Clorita ↓ ↘Serpentina	Peridotitos
Hornblenda Xisto	Hornblenda = 50-90% Clinopiroxênio = 0-40% Ferro Actinolita = 0-15% Titanita = 0-6% Carbonato = 0-5% Opacos = 0-5% Epidoto = 0-3% Apatita = 0-1% Quartzo = 0-1% Rutilo = 0-1%	Clinopiroxênio ↗Ferro Actinolita ↓ → Hornblenda ↘ Act/Tremolita Rutilo → Titanita	Piroxênitos ?
Talco Xisto	Talco = 80% Clorita = 10% Opacos = 4% Act/Tremolita = 4% Serpentina = 2%	Act/Tremolita ↘ Clorita → Talco ↗ Serpentina	Peridotitos

referidas transformações presentes na área em estudo marcam a presença de dois eventos metamórficos principais.

O primeiro atingiu uma temperatura mínima de 600°C, compatível com os limites inferiores da fácies anfibolito (metamorfismo de médio grau). Como minerais diagnósticos deste evento, temos a presença de hornblenda, granada, sillimanita, estauroлита e antofilita, não estando descartada a possibilidade de que a *oi* i vi na e os piroxênios sejam metamórficos. Esses minerais se arranjam segundo as seguintes associações:

1. olivina + piroxênio (metapiroxenitos e metaperidotitos);
2. hornblenda + titanita + opacos (anfibolitos);
3. antofilita + biotita + quartzo (xistos e quartzitos);
4. estauroлита + sillimanita + biotita + quartzo (Fotomicrografia 7) (xistos e gnaisses);
5. sillimanita + granada + quartzo (xistos, quartzitos e gnaisses).

De acordo com Winkler (1976), a paragênese biotita-estauroлита é diagnóstica do início do metamorfismo de grau médio (fácies anfibolito), enquanto a presença de sillimanita e antofilita são indicativas de temperaturas superiores a 600°C e a presença de almandina indica pressões superiores a 4 kbar (fácies anfibolito médio). Este evento metamórfico associa-se à deformação intensa e dúctil, caracterizada como o evento deformacional mais antigo, observado na cobertura vulcano-sedimentar.

O segundo evento metamórfico, bem caracterizado na área, é atestado pela presença de clorita, tremolita, actinolita, serpentina, talco e carbonato em rochas ultramáficas; actinolita, sericita, clorita, clinozoisita, pistacita, albita, carbonato, titanita e leucoxênio em rochas máficas; sericita, clinozoisita, pistacita, actinolita/tremolita, albita, clorita e carbonato, além de granada relacionada com clorita e quartzo em zona de

LEGENDA

X - SERPENTINITOS

+ - CLORITA ACTINOLITA-TREMOLITA XISTO COM PSEUDOMORFO DE OLIVINA

● - CLORITA ACTINOLITA-TREMOLITA XISTO COM TEXTURA ESQUELETAIS

Δ - CLORITA ACTINOLITA-TREMOLITA XISTO COM RESTO DE CLINO-PIROXÊNIO

▽ - HORNBLENDITA XISTO

● - ANFIBOLITO

□ - METASSEDIMENTO

Figura 4 - Diagramas de variação MgO versus óxidos; MgO versus níquel e MgO versus $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$

Figure 4 - Variation diagrams in which oxides, nickel and the ratio $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ are plotted against MgO.

Figura 5A - Diagrama $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ das rochas metaultramáficas e metamáficas da área de Ribeirão da Conquista, Alpinópolis (MG)
Figure 5A - The $(\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2) - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ diagram for analyses of metamorphosed ultramafic and mafic rocks from the Ribeirão da Conquista area near Alpinópolis Minas Gerais

Figura 5B - Diagrama $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ para rochas metaultramáficas e metamáficas da área de Ribeirão da Conquista, Alpinópolis (MG)
Figure 5B - The $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ diagram for analyses of metamorphosed ultramafic and mafic rocks from the Ribeirão da Conquista area near Alpinópolis, Minas Gerais

Figura 6 - Perfil litoestrutural da porção norte da Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG)
Figure 6 - Lithologic and structural section of the northern portion of the Volcanosedimentary Sequence of Alpinópolis, Minas Gerais

Prancha 2 - Fotomicrografia 3. Cristais de actinolita/tremolita (cores levemente acinzentadas), com clorita associada (coloração cinza), ambos envoltos por massa serpentinitica, com cristais de opacos dispersos. **CL** = clorita, **ACT** = actinolita/tremolita, **SP** = serpentina. Nicóis paralelos. **Fotomicrografia 4.** Carbonatos e opacos associados e preservados na massa serpentinitica. **SP** = serpentina, **C** = carbonato, **OP** = opacos. Nicóis cruzados. **Fotomicrografia 5.** Xistosidade bem pronunciada em talco xisto, formada pela associação mineral actinolita/tremolita (formas prismáticas) que se transformam para talco e clorita. Nicóis cruzados. **Fotomicrografia 6.** Metapiroxiênio, composto de clinopiroxiênio (augita) (coloração cinza mais escuro), com fraturamento cerrado sendo substituídos por anfibólio (actinolita/tremolita) de coloração cinza e clivagem nítida. **HB** = actinolita/tremolita, **CPX** = augita. Nicóis paralelos

Chart 2 - Photomicrograph 3. Actinolite-tremolite crystals (light gray) and associated chlorite crystals (medium gray) inside a serpentine matrix. Matrix has some scattered opaque minerals (**CL** = chlorite, **ACT** = actinolite and tremolite, **SP** = serpentine). Plain light. **Photomicrograph 4.** Carbonates and associated opaque minerals occur in a serpentine matrix (**SP** = serpentine, **C** = carbonates, **OP** = opaque minerals). Crossed nicols. **Photomicrograph 5.** Strongly oriented prismatic habit of actinolite - tremolite crystals imparts cleavage to schistose rock. Cleavage becomes enhanced by the transformation of the actinolite - tremolite association into a talc-chlorite association. Crossed nicols. **Photomicrograph 6.** Metapyroxenite composed of fractured augite (darker gray) that has been partly replaced by tremolite-actinolite with pronounced cleavage (light gray). (**HB** = tremolite-actinolite, **CPX** = augite). Plain light

sombra de pressão, fraturamento de sillimanita e porfiroclastos de pirita e pirrotita com moagem nas bordas, nas rochas metassedimentares; e a presença de sericita, albita, epidoto e clorita em rochas ácidas. Esses minerais se arranjam segundo as seguintes associações mineralógicas: 1. actinolita/tremolita + clorita + serpentina + talco (metapiroxiênitos e metaperidotitos); 2. serpentina + talco (metaperidotitos); 3. serpentina + carbonato (Fotomicrografia 4) (xistos ultramáficos); 4. clinozoisita + actinolita/tremolita + quartzo (Fotomicrografia 9) (anfíbolitos, xistos, fels e quartzitos); 5. sericita - epidoto - clorita - albita (anfíbolitos, xistos máficos e gnaisses).

Segundo Winkler (1976), as paragêneses acima são indicativas de metamorfismo de grau baixo, fácies xisto-verde, zona da clorita, mas que atingiu os limites superiores da

fácies xisto-verde, conforme demonstram as associações 4 e 5. A mineralogia formada durante esse metamorfismo define a foliação mais evidente na área, caracterizada como C₂/S₂ (Carvalho 1990) gerada em consequência da aloctonia da sequência (Soares *et al* 1990).

CONCLUSÕES Os trabalhos de mapeamento geológico, integrando dados de superfície e subsuperfície, acompanhados ainda de estudos petrológicos realizados na Sequência Vulcano-Sedimentar Alpinópolis, permitiram caracterizar a presença de quatro unidades litologicamente distintas a saber:

- unidade metaultramáfica - constituída por clorita-actinolita/tremolita xistos, onde é possível observar a presença de cristais de olivina e clinopiroxiênio e de textura

Tabela 3A - Mineralogia e transformações metamórficas na unidade metamáfica

Table 3 A - Mineralogy and metamorphic changes of the metamorphosed mafic unit

UNIDADE METABÁSICA / METAMÁFICA			
LITÓTIPO	VARIAÇÃO MINERALÓGICA	TRANSFORMAÇÕES METAMÓRFICAS MAIS FREQUENTES NOS LITÓTIPOS	POSSÍVEL ROCHA ORIGINAL
Plagioclásio-Hornblenda Act/Tremolita Xisto	Anfíbólio = 30-65% Biotita = 0-40% Plagioclásio = 8-15% Epidoto, Sericita e Carbonato = 3-18% Titanita = 0-8% Quartzo = 1-12% Clorita = 0-2% Espinélio = 0-1%	Hornblenda → Biotita ↓ ↗ Actinolita → Clorita Plagioclásio → Sericita ↘ Carbonato ↘ Epidoto	Basaltos Toleíticos (?)
Anfibolito	Anfíbólio = 48-65% Plagioclásio = 25-40% Augita = 0-20% Epidoto = 3-10% Sericita = 2-6% Carbonato = 0-4% Opacos = 0-3% Biotita = 0-1%	↗ Biotita Hornblenda → Act/Tremolita ↘ Augita ↗ Carbonato Plagioclásio → Epidoto ↘ Clorita ↘ Sericita	Basaltos Toleíticos (?)

spinifex pseudomorfizada; serpentinitos com proporções variadas de tremolita/actinolita, clorita, carbonato e olivinas; talco xistos e hornblenda xistos. Caracterizam os komatiitos de composição peridotítica a piroxenítica.

- unidade metamáfica - representada por litótipos, tais como plagioclásio-hornblenda-tremolita/actinolita xistos e anfibolitos, que química e mineralogicamente indicam associação original correspondente a rochas basálticas de provável afinidade toleítica.
- unidade metassedimentar - formada por granada-biotita xisto, sillimanita-biotita xisto, granada-antofilita xisto, quartzitos, formações ferríferas e, possivelmente, alguns corpos de actinolita/tremolita-biotita xistos e de clinozoisita-actinolita/tremolita *fels*. Esses litótipos são interpretados como originados a partir de sedimentos tufáceos, pelítico-aluminosos, margosos, *chert* e formações ferríferas.
- unidade intrusiva ácida - representada por rochas de composição essencialmente trondjemítica a monzogranítica, cuja mineralogia essencial é dada por quartzo, plagioclásio e biotita. Apesar da sua deformação, exibe contatos nitidamente discordantes, com as demais unidades, sendo portanto considerada tardia em relação à primeira deformação. Localmente, quando em contato com a unidade metaultramáfica, apresenta mudanças mineralógicas com a formação de marunditos.

Os eventos tectônico-metamórficos com caráter policíclico que atuaram na área resultaram numa geologia excepcionalmente complexa, afetando a distribuição e a configuração espacial dos corpos litológicos, mas permitindo ainda a reconstituição de pelo menos dois destes eventos. O primei-

ro alcançou temperaturas de pelo menos 600°C, marcado pela associação mineralógica granada/sillimanita/estaurolita. O segundo evento foi retrogressivo, na fácies xisto-verde, e provocou extensivas modificações mineralógicas tais como cloritização, serpentinitização, carbonatação e silicificação, associando-se ao evento principal de cisalhamento e aloctonia da sequência.

A presença de rochas komatiíticas, marcadas por textura *spinifex*, teores de MgO superiores a 18% em base anidra (Arndt e Nisbet 1982), dos sedimentos químicos e o contexto regional sugerem que a Sequência Vulcano-Sedimentar Alpinópolis tenha se formado originariamente por vulcanismo básico/ultrabásico. Pausas ou interrupções desse vulcanismo foram acompanhadas pela deposição de sedimentos tufáceos, aluminosos e/ou margosos, *cherts* e formação ferrífera. No decorrer do tempo geológico, todo o conjunto vulcano-sedimentar sofreu metamorfismo, tectonismo e intrusões de rochas granitóides, com possível transporte e enclave tectônico sobre o embasamento sílico. Eventos posteriores alteraram a geometria e o arranjo original dos corpos.

Agradecimentos Agradecimentos especiais são devidos ao engenheiro José Tarcísio Soares e ao sr. João Soares (*in memorian*), pelo apoio financeiro dado durante o desenvolvimento dos trabalhos de mapeamentos e sondagens, desenvolvidos entre os anos de 1981 e 1986. Os agradecimentos são extensivos aos colegas e instituições que de uma maneira ou de outra incentivaram ou colaboraram com a execução deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNDT, N.T. & NISBET, E.G. 1982. What is a Komatiite? In: ARNDT, N.T. & NISBET, E.G. eds. *Komatiites*. London, George Allen & Unwin. p. 19-27.
- CARVALHO, S.G.; CHOUDHURI, A.; OLIVEIRA, M.A.F.; FIORI, A.P.; SOARES, P.C. 1982.- Paragênese e possível origem dos xistos básicos e ultrabásicos de Fortaleza de Minas, MG. In: CONOR. BRAS. GEOL., 32. Salvador, 1982. *Anais...* SBG, Salvador, v. 2, p. 641-647.
- CARVALHO, S.G. & BATISTA, J.J. 1983. Prospecção geoquímica de solo no cinturão vulcano-sedimentar "Morro do Ferro", Fortaleza de Minas (MG). In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 2. Belo Horizonte, 1983. *Atas...* SBG, Belo Horizonte, vol. 3, p. 248-258.
- CARVALHO, S.G. 1990. Geologia, petrologia e metalogenia da sequência vulcano-sedimentar Alpinópolis (MG). São Paulo. 216 p. (Tese de Doutorado, IG/USP).
- CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, L.C.; CHIEREGATI, C.A.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; ROCHA, J.M.; COUTINHO,

Prancha 3 - Fotomicrografia 7. Associação mineral de estaurolita (relevo mais alto), sillimanita (hábito acicular), biotita e quartzo em metapelite. Localmente observa-se sillimanita, sofrendo processos de sericitização. **E** = estaurolita, **SL** = sillimanita, **BT** = biotita. Nicóis paralelos. **Fotomicrografia 8.** Granada antofilita xisto, mostrando matriz composta por cristais de plagioclásio, feldspato potássico e predominantemente cristais de antofilita que marcam uma orientação preferencial. **GR** = granada. Nicóis paralelos. **Fotomicrografia 9.** Associações mineral constituída por clinozoisita (coloração cinza mais escuro), actinolita/tremolita (cinza claro), com formas mais ou menos tabulares e opacos em clinozoisita-actinolita-fels. **CZ** = clinozoisita, **AC** = actinolita/tremolita. Nicóis paralelos

Chart 3 - Photomicrograph 7. The staurolite-sillimanite-biotite-quartz association define a metapelite: staurolite (high relief) and sillimanite (acicular habit). In places sillimanite undergoes sericitization (**E** = staurolite, **SL** = sillimanite, **BT** = biotite). Plain light. **Photomicrograph 8.** Garnet-antophyllite schist. Garnet occurs as large porphyroblasts in a matrix predominantly composed of antophyllite with subordinate plagioclase and potash feldspar. (**GR** = garnet). Plain light. **Photomicrograph 9.** Clinozoisite-actinolite fels with clinozoisite (darker gray), tabular-shaped actinolite-tremolite (light gray) and opaque minerals (**CZ** = clinozoisite, **AC** = actinolite-tremolite). Plain light

- M.G.M. 1979. *Projeto Sapucaí*. São Paulo, CPRM-DNPM. (Mapa e Relatório Final).
- CHOUDHURI, A.; SZABÓ, G.J.A.; EBERT, H.D. 1982. Feições estruturais e texturais dos derrames ultramáficos a norte e nordeste de Petunia, sul de Minas Gerais. *Ciências da Terra*. 7:18-20.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. 1966. *Minerais Constituintes das Rochas- Uma Introdução*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 558 p. (Trad. Luis E. Nabais Conde, 1981).
- HEILBRON, M.; VALERIANO, C.M.; ZIMBRES, E.; CHRISPIM, S.J.; SIMÕES, L.S.A.; SOUZA, M.A.T. 1987. O contato basal do Grupo Canastra entre Itaú de Minas e Carmo do Rio Claro, MG. In: SIMP. GEOL. MINAS GERAIS, 4. Belo Horizonte, 1987. *Anais...* Belo Horizonte, SBG. vol. 7, p. 179-198.
- JENSEN, L.S. 1976. *A New Cation Plot for Classifying Sub-Alkalic Volcanic Rocks*. Ontario, Division of Mines. Misc. Paper 66.
- MARCHETTO, C.M.L.; BRENNER, T.L.; FRANKE, N.D.; CHENEY, J.T.; TEIXEIRA, N. A.; MOREIRA, A.E.; PIMENTEL, R.C.; GALLO, C.B.M. 1984. Geologia e petrografia do segmento do *Greenstone Belt* Morro do Ferro a sul de Fortaleza de Minas. In: CONOR. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. *Resumos...* Rio de Janeiro, SBG. p. 149.
- MORALLES, N.; CARVALHO, S.G.; OLIVEIRA, M.A.F.; RODRIGUES, M.F.B.; ZANARDO, A. 1983. Geologia das Folhas de Fortaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí e Nova Rezende. In: SIMP. REG. GEOL. MINAS GERAIS, 2. Belo Horizonte, 1983. *Atas...* Belo Horizonte, SBG/NMG. p. 411-422.
- NALDRETT, A. J. & TURNER, A.R. 1977. The geology and petrogenesis of a greenstone belt and related nickel sulfide mineralization at Yakabindie, Western Australia. *Precambrian Res.* 5:43-103.
- SIMÕES, L.S.A.; VALERIANO, C.M.; ZANARDO, A.; MORALLES, N.; GOMI, C.; MORAES, R. 1988. Zonação metamórfica inversa do Grupo Araxá/Canastra na região de São Sebastião do Paraíso - Alpinópolis. In: CONOR. BRAS. GEOL., 35. Belém, 1988. *Anais...* Belém, SBG. v. 3, p. 1203-1216.
- SZABÓ, J.A.G. 1989. *Contexto Geológico e Petrologia das Rochas Metavulcânicas de Alpinópolis (MG)*. São Paulo. 203 p. (Dissertação de Mestrado, IG-USP).
- TEIXEIRA, N. A. 1978. *Geologia e Petrologia e Prospecção Geoquímica da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG)*. Brasília. (Dissertação de Mestrado, IG-UnB).
- TEIXEIRA, N. A. & DANNI, J.C.M. 1979a. Geologia da raiz de um *greenstone belt* na região de Fortaleza de Minas, Minas Gerais. *Rev. Bras. Geoc.* 9(1): 17-26.
- TEIXEIRA, N.A. & DANNI, J.C.M. 1979b. Petrologia de lavas metabásicas da Sequência Vulcano Sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). *Rev. Bras. Geoc.* 9(2): 151-158.
- TEIXEIRA, N.A.; GASPAR, J.C.; BRENNER, T.L.; CHENEY, J.T.; E

Tabela 3B - Mineralogia e transformações metamórficas na unidade metassedimentar
Table 3 B - Mineralogy and metamorphic changes of the metasedimentary unit

UNIDADE METASSEDIMENTAR			
LITÓTIPO	VARIAÇÃO MINERALÓGICA	TRANSFORMAÇÕES METAMÓRFICAS MAIS FREQUENTES NOS LITÓTIPOS	POSSÍVEL ROCHA ORIGINAL
Granada- Biotita Xisto	Biotita = 2-40% Granada = 3-35% Plagioclásio = 6-45% Quartzo = 2-20% Clorita = 2-19% Sericita = 0-4% Epidoto = 0-2%	Biotita → Clorita ↗Clorita Plagioclásio → Sericita ↘Epidoto	Tufos + Pelitos ?
Act/Tremolita Biotita Xisto	Biotita = 2-38% Plagioclásio = 8-38% Act/Tremolita = 2-32% Quartzo = 5-28% Clorita = 0-22% Opacos = 4-15% Sericita, Espinélio, Epidoto = 0-2%	↗Epidoto Plagioclásio → Sericita ↘Carbonato ↘Clorita Actinolita/Tremolita → Biotita ↘Clorita	Possíveis sedimentos composição tufácea e margosa.
Sillimanita-Biotita Xisto portadores de Granada Estaurolita	Quartzo = 39% Plagioclásio = 35% Biotita = 10% Sillimanita = 8% Estaurolita = 4% Sericita = 3% Granada = 1% Apatita e Opacos = 1%	Sillimanita → Sericita Plagioclásio → Sericita	Pelitos
Granada Antofilita Xisto	Antofilita = 30-40% Clorita = 0-30% Granada = 0-20% Microclínio = 0-17% Quartzo = 0-10% Plagioclásio = 0-10% Biotita = 0-6% Opacos = 0-5% Espinélio = 0-4%	↗Clorita Antofilita ↘Biotita	Tufos ?
Clinozoisita Actinolita Quartzo Fels	Quartzo = 40% Act/Tremolita = 30% Clinozoisita = 25% Titanita = 2% Opacos = 3%	Clinozoisita → Act/Tremolita	Margas ?
Quartzitos e Formação Ferrífera	Quartzo = 50-100% Hematita = 0-50% Sericita = 0-3%		Cherts ferruginosos

MARCHETTO, C.M.L. 1987. Geologia e implicações geotectônicas do *greenstone belt* Morro do Ferro (Fortaleza de Minas - MG). *Rev. Bras. Geoc.*, 17:209-220.

VILJOEN, M.J.; VILJOEN, R.P.; PEARTON, T.N. 1982. The nature and distribution of Archaean komatiite volcanics in South Africa. In: ARNDT, N.T. & Nisbet, E.G. eds. *Komatiites*. London, George Allen & Unwin. p. 53-79.

WINKLER, H.G.F. 1976. *Petrogênese das Rochas Metamórficas*. São Paulo, Edgard Blucher. (Trad. Carlos Burger Jr.). 254 p.

MANUSCRITO A722

Recibo em 22 de maio de 1992

Revisão do autor em 28 de novembro de 1994

Revisão aceita em 17 de dezembro de 1994