UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

GEOLOGIA, PETROLOGIA E METALOGENIA DA
SEQUÊNCIA VULCANO - SEDIMENTAR DE
ALPINÓPOLIS, MINAS GERAIS

Sebastião Gomes de Carvalho

Orientador: Prof. Dr. Aledir Paganelli Barbour

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa Pós-Graduação em Recursos Minerais e Hidrogeologia

São Paulo
1990

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

GEOLOGIA, PETROLOGIA E METALOGENIA DA
SEQUÊNCIA VULCANO - SEDIMENTAR DE
ALPINÓPOLIS, MINAS GERAIS

Sebastião Gomes de Carvalho

Orientador: Prof. Dr. Aledir Paganelli Barbour

TESE DE DOUTORAMENTO

COMISSÃO EXAMINADORA

	nome	ass.
Presidente:	Dr. Aledir P. Barbour	
Examinadores:	Dr. Marcos A.F. de Oliveira	
	Dr. Paulo C. Soares	
	Dra. Maria A.F. Candia	
	Dr. Jorge S. Bettencourt	

São Paulo
1990

"Não é possível que os axiomas estabelecidos pelo raciocínio sejam suficientes para descobertas de novos resultados, pois a sutileza da natureza é muito maior que a sutileza do raciocínio".

Francis Bacon

"Para minha esposa Irene, meus filhos Leonardo e Carolina e a Mozart, o amigo certo das horas incertas".

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004723

RESUMO

A Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis é uma, entre várias outras sequências correlatas no sudoeste do estado de Minas Gerais, que integram o Greenstone belt "Morro do Ferro". Essas sequências como um todo encontram-se embutidas tectonicamente, por falhas ou estruturas sinformais em um embasamento granítico-migmatítico gnáissico regionalmente denominado de Complexo Campos Gerais.

Através de furos de sondagens na Sequência Vulcano Sedimentar Alpinópolis foram identificada a presença de vários corpos sulfetados (disseminados, semimaciços a maciços) em profundidade, hospedados em diferentes tipos litológicos (metavulcânicas e metassedimentos). O estudo desses corpos e de suas encaixantes mostrou que os eventos tectono metamórficos com caráter policíclico que atuaram regionalmente, resultou numa geologia local extremamente complexa, afetando a sua distribuição e configuração espacial. Apesar disso, os estudos geológicos, petrológicos, petrográficos e petroquímicos realizados permitiram identificar nas hospedeiras e corpos sulfetados, diversas feições geológicas, destacando-se:

1º) a presença de uma suite metaultrabásica/metaultramáfica, constituída por clorita-tremolita-xisto (com pseudomorfos de olivinas e textura spinefex), serpentinito, talco-xisto e hornblenda xisto, que originariamente corresponderiam a peridotitos e piroxenitos de composição komatiítica; 2º) uma suite de rochas metabásicas/metamáficas com composição de basaltos, formada por plagioclásio-hornblenda-tremolita xisto, anfíbolito e albitas -anfíbolito; 3º) uma suite metassedimentar encerrando granada-biotita-xisto, (contendo ou não sillimanita, estauroлита e antofilita) e clinozoisita-actinolita-fels, que originariamente corresponderiam respectivamente a possíveis sedimentos pelíticos, margosos e tufaceos.

4º) ocorreram dois eventos metamórficos na área. O primeiro teve como limite inferior temperaturas da ordem de 520 C marcada pela assembléia granada/sillimanita/estauroлита. O segundo evento é retrogressivo na fácies xisto verde, afeta esta mesma área causando nas rochas extensivas modificações mineralógicas.

Os dados químicos obtidos através do estudo das fases mineralógicas metamórficas incluindo anfíbolio, serpentina, olivi-

na, feldspato, clorita, mica, granada e piroxênio, são compatíveis com aqueles obtidos através de estudos petrográficos e químicos. Os anfibólios, por exemplo são essencialmente magnesianos (na suíte metaultramáfica) apresentam forte variação ferro-magnésiana na suíte metabásica e ampla variação nos teores de cálcio na suíte metassedimentar.

Os corpos de sulfetos apresentam-se tectonicamente controlado (zonas de cisalhamento), e estão alojados em diversos litotipos (metaultramáficos, metaultrabásicas, metassedimentos). Suas espessuras são variáveis e ostentam formato lenticular. Sua composição mineralógica é simples, predominando em termos de abundância pirrotita, pirita e secundariamente esfalerita, calcopirita, pentlandita e milerita. Essa mineralogia resulta nos baixos teores de Ni, Cu, Zn, presente nos corpos. Foram identificados quatro associações mineralógicas sulfetadas nesses corpos, registrando os sucessivos eventos geológicos, incluindo: 1º) uma assembléia original atualmente representada por pirita, pirrotita, pentlandita e milerita, 2º) uma assembléia dominada por pirrotita, pirita, gerada durante o evento metamórfico de alto grau, 3º) uma associação mineralógica caracterizada por pirita e pirrotita recristalizadas, com exsoluções de calcopirita e pentlandita; 4º) uma associação com pirita e pirrotita com formas édricas e secundariamente esfaleritas e calcopiritas em fraturas.

O tectonismo intenso que afetou toda a área, obliterou e modificou a assembléia sulfetada original, dificultando o estabelecimento de uma hipótese genética para a mineralização sulfetada, optando-se tentativamente pelo modelo vulcânico-exalativo.

ABSTRACT

The Alpinópolis Volcano Sedimentary Sequence is, among several others correlated sequences in the southeastern part of Minas Gerais, State, an integrated portion of the "Morro do Ferro" Greenstone Belt. The sequences show, as a general feature, ubiquitous tectonically disturbed zones, where faulting and folding are pervasive processes. The local basement can be characterized as an ancient granite-migmatite complex, regionally recognized and defined as "Campos Gerais" Complex.

Diamond drilling surveys were carried out in the regard of defining the stratigraphic pile, and with this approach, several kinds of sulphide bodies were identified (disseminated, semimassive and massive), closely associated with different lithotypes (metavolcanic, and metasedimentary rocks). The study of these bodies, and of their host rocks displayed that these tectonic metamorphic events, with polycyclic regional character, resulted in an inextricable local geology, affecting its distribution and spacial configuration. Moreover the geological, petrological, petrographic and petrochemical studies carried out permit us to identify, in the host rocks and ores, several geological features; namely:

1:) the existence of an, metaultrabasic/metaultramafic suit, constituted of clorite-tremolite-schists with pseudomorphsed olivine, and spinifex textures, serpentinite, talc-schists and hornblende-schist, which originally could correspond to komatiitic peridotites and piroxenites; 2:) a metabasic/metamafic suit, composed of plagioclase-hornblende-tremolite schists, anfibolites and albite-anfibolitic; 3:) a metasedimentary suit embracing garnet-biotite schists and clinozoisite-actinolite-fels, which originally could correspond respectively to, pelitic marly (margosos) and tuffaceous sediments; 4:) two main metamorphic events occurred in the área: The former showed lower temperatures at 520°C assigned by garnet-sillimanite-staurolite parageneses. The latter, with conspicuous retrogressive character, conducted to a reequilibrated mineralogical assemblage.

The chemical data obtained by the study of mineralogical phases, including anfibolis, supentine, olivine, feldspar, clorite, mica, garnet and piroxene are compatible with that

obtained by chemical and petrographic approaches. The antiferroalloys, as a good example are essentially magnesian when in the metaultramafic suit; show strong iron-magnesian grade variations when in the metabasic suit and show very, strong variations, in the calcic grade when in the metasedimentary suit.

The sulphide bodies make themselves tectonically controlled and define true shear zones. They are located in the core of several lithotypes, namely: metaultramafic, metaultrabasic and metasedimentary rocks. Their thickness are very variable and exhibit lenticular shapes. Their mineralogical compositions show marked variations and can include predominantly, pyrrhotite and pyrite and secondarily, esphalerite, chalcopyrite, pentlandite and millerite decreasing in abundance. These mineralogical groups explain the lower Ni, Cu, Zn grades. Four mineralogical assemblages were identified recording the successive geological events, that is to say: 1°) a primeval assemblage comprised by pyrite, pyrrhotite, pentlandite e millerite; 2°) an assemblage dominated by pyrrhotite, pyrite spring up during. The high grade metamorphic event. 3°) an mineralogical association characterized by recrystallized pyrite and pyrrhotite, showing chalcopyrite and pentlandite exsolutions; 4°) an association making up pyrite and pyrrhotite with euhedral shapes and accessorially esphalerites and chalcopyrites filling fractures.

The high tectonic disturbing events affected the whole area, masqueraded and modified the primeval sulfide (sulfidic) assemblage preventing us to propose a clear genetic hypotheses to sulphide mineralizations and, alternatively, allow us only suppose an volcano-exhalative model.

AGRADECIMENTOS

Temos o dever de deixar aqui consignados os nossos sinceros agradecimentos à valiosa colaboração prestada por pessoas e entidades que muito contribuíram para a elaboração do presente trabalho.

Ao amigo Prof. Dr. Aledir P. Barbour, do Departamento de Geologia Geral e Aplicada do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, que orientou os trabalhos e revisou as várias redações desta tese.

Agradece-se em especial à colaboração prestada por Paulo Cesar Soares que se iniciou durante os trabalhos preliminares de campo e continuou nas etapas conceituais, formais e de redação final.

Aos professores João B. Moreschi e Marcus A. F. Oliveira, pelas colaborações prestadas. Ao primeiro, pelo auxílio nos trabalhos de microscopia de minério e pelas intermináveis discussões sobre gênese de depósitos sulfetados maciços. Ao segundo pela revisão inicial do texto e pelo auxílio nas interpretações envolvendo quimismo de rocha e de minerais silicatados.

O autor agradece aos Geólogos Paulo Cesar Soares, Alberto Pio Fiori, Carlos Roberto de Camargo e também aos alunos estagiários de Geologia Pedro A. Bigneli, Evandro Cardoso Cintra, Harumi Takia, Renato Alvez e José A. Scabora. Essa foi a equipe que juntamente com o autor participou das várias etapas de trabalhos de campo tanto à escala regional como também à escala local.

Cabe destacar a participação da Srta. Maria Cecília Antonio que durante dois anos, como bolsista de iniciação científica da FAPESP na área de Mineralogia, Petrologia e química mineral de silicatos, gerou assim considerável acervo de informações.

Aos Geólogos Elias C. Daitx, Sérgio E. do Amaral, Jorge S. Bettencourt, agradece-se pela revisão crítica do texto.

Ao gerente de divisão da superintendência de tecnologia da Companhia Vale do Rio Doce Dr. Rodrigo Otavio Santos Luz, por nos ter permitido o acesso, aos laboratórios de microsonda eletrônica dessa conceituada da empresa, verdadeiro patrimônio nacional. Em especial agradece-se ao geólogo Luis A.R. Garcia e à Técnica Carmem da Silva, pela competência e paciência na realização de centenas de análises químicas de minerais.

Menção especial é devida ao Conselho Nacional de desen-

volvimento científico e tecnológico, que através de concessão de Bolsas de pesquisas sucessivas, Processos nº 301-341-84,85 e 86,87 e 88, viabilizou a efetivação de vários trabalhos de campo, laboratoriais e bibliográficos.

Especiais agradecimentos são devidos ao Senhor João Soares e seu filho José T. Soares, pela confiança e apoio financeiro, que foram decisivos para a realização dos trabalhos de campo e análises químicas de rochas.

Na parte técnica, foi importante a colaboração do Sr. Antonio Carlos de Moraes (confeção de lâminas delgadas e polidas), Darlene C. Ambrust, Elaine Brigatto, Nadia Regina P. Lunardi, Vânia Regina Roveratti (pelo trabalho datilográfico) e Isabel A. Meyer (pelos desenhos).

ÍNDICE

RESUMO.....	I
ABSTRACT.....	III
AGRADECIMENTOS.....	V
ÍNDICE.....	VII
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Definição de propósito e objetivos dos estudos.....	1
1.2. Situação da área.....	2
1.3. Trabalhos prévios existentes para a área.....	3
2. METODOLOGIA.....	7
2.1. Trabalho de campo.....	7
- Serviços de Apoio.....	7
- Levantamentos Geológicos.....	8
- Levantamentos Geoquímicos.....	8
- Levantamentos Geofísicos.....	9
- Sondagens.....	9
2.2. Trabalhos de Laboratórios.....	9
- Estudos Petrográficos.....	9
- Análises Químicas.....	9
- Estudos em microsonda eletrônica.....	10
- Mapa Geológico Final.....	10
3. GEOLOGIA REGIONAL E EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO GEOLÓGICO.....	11
3.1. Introdução.....	11
3.2. Descrição das unidades litológicas.....	11
- Complexo Campos Gerais.....	11
- Complexo Varginha/Guaxupé.....	13
- Grupo Araxá/Canastra.....	14
- Grupo Bambuí.....	16
3.3. Interpretação Geotectônica.....	17
- Introdução.....	17
- O modelo de Ebert.....	17
- Modelos de Almeida.....	18
- Modelo de Fyfe e Leonardos.....	19
- Modelo de Braun e Baptista.....	22
- Modelo de Davino.....	24
- Modelo de Wernick.....	24
- Modelo de Soares.....	26
3.4. Considerações sobre o posicionamento geotectônico da Associação vulcano-sedimentar de Passos/Alpinó- nolis (MG).....	29
4. GEOLOGIA LOCAL.....	30
4.1. Generalidades.....	30

4.2. Descrição das unidades litológicas.....	31
- Unidade migmatítica/gnáissica.....	31
- Unidade vulcano sedimentar.....	32
- Suite Intrusiva ácida.....	36
5. ESTUDOS PETROLÓGICOS.....	37
5.1. Caracterização Petrográfica da Unidade Vulcano-Sedi- mentar.....	37
- Suite metaultramáfica/metaultrabásica.....	37
- Suite metabásica/metamáfica.....	48
- Suite metassedimentar.....	51
5.2. Química Mineral.....	60
5.3. Quimismo das rochas.....	85
6. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA.....	93
6.1. Aspectos Estruturais.....	93
6.1.1. Geologia Estrutural.....	93
6.1.2. Feições Microestruturais.....	97
6.2. Aspectos metamórficos.....	107
7. ESTUDOS DOS CORPOS SULFETADOS.....	110
7.1. Características Gerais.....	110
7.2. Descrição das Assembléias Sulfetadas.....	113
7.3. Observações microscópicas na Assembléia Sulfetada.....	114
7.4. Observações Microscópicas na Assembléia óxido.....	128
7.5. Geoquímica dos corpos sulfetados.....	131
7.6. Química mineral.....	135
8. GÊNESE DAS CONCENTRAÇÕES SULFETADAS NA UNIDADE VULCANO- SEDIMENTAR DE ALFINÓPOLIS.....	144
8.1. Introdução.....	144
8.2. A Gênese e a evolução geológica das concentrações sul- fetadas.....	146
9. CONCLUSÕES GERAIS.....	150
10.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	155
11.ANEXOS.....	166

INDICE DAS FIGURAS

FIGURA 1 - Mapa de localização e acesso.....	4
FIGURA 2 - Mapa de localização Geotectônica da área.....	12
FIGURA 3 - Mapa de ocorrência e estruturação do Cinturão Paraíba.....	20
FIGURA 4 - Esboço Tectônico de Parte da Plataforma Sul-Americana.....	20
FIGURA 5 - Os crátons São Francisco e do Paramirim e suas estruturas envolventes.....	21
FIGURA 6 - Principais Feições Estruturais e Metamórficas da Região Leste do Brasil.....	23
FIGURA 7 - Esquema de evolução Tectônica dos Cinturões Vulcânicos no Espinhaço Meridional.....	23
FIGURA 8 - Perfil Gravimétrico e corte esquemático da crosta....	25
FIGURA 9 - Esboço Tectônico Simplificado da Borda <u>Sul do Cráton</u> do São Francisco.....	27
FIGURA 10- Arcabouço Estrutural da Borda Sul do cráton do São Francisco.....	27
FIGURA 11- Evolução esquemática da crosta ensialica primitiva arqueana e a formação do protocráton do Paramirim....	28
FIGURA 12- Distribuição composicional dos anfibólios presentes na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG)....	67
FIGURA 13A-Classificação e nomenclatura de anfibólios cálcicos....	68
FIGURA 13B-Classificação e nomenclatura de anfibólios ferro-magnesianos.....	68
FIGURA 14- Nomenclatura de serpentinas presentes na sequência vulcano- sedimentar de Alpinópolis (MG).....	70
FIGURA 15- Variação composicional de feldspatos na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG).....	73
FIGURA 16- Nomenclatura de cloritas presentes na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis.....	75
FIGURA 17- Composição de micas na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG).....	77
FIGURA 18- Variação composicional de olivinas na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG).....	79
FIGURA 19- Nomenclatura de clinopiroxênios.....	81
FIGURA 20- Diagrama binário de variação MgO versus óxidos, níquel e $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$	90

FIGURA 21-	Diagrama binário de variação SiO_2 versus óxidos; SiO_2 versus Fe/Mg	91
FIGURA 22A-	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).....	92
FIGURA 22B-	Diagrama $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO}$ para rochas metaultramáficas e metamáficas da área de Ribeirão da Conquista, Alpinópolis (MG).....	92
FIGURA 23-	Gráfico esquemático do comportamento dos minerais com o aumento da deformação.....	98
FIGURA 24-	Esquema da relação entre as porções de desenvolvimento de porfiroblastos e as épocas de formação das foliações.....	99
FIGURA 25-	Gráfico de deformação versus temperatura mostrando variação de microestruturas.....	104
FIGURA 26-	Diagrama de temperatura e pressão para o metamorfismo.....	108
FIGURA 27-	Bloco diagrama de parte da área mapeada.....	112
FIGURA 28-	Diagrama composicional para Piritas e Pirrotitas da Sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG).....	138
FIGURA 29-	Diagrama composicional para pentlanditas e milleritas presentes na Sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG).....	138
FIGURA 30-	Diagrama composicional para calco-pirita presente na Sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis-MG.....	141
FIGURA 31-	Diagrama composicional para esfaleritas presentes na Sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG).....	141

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 -	Mapa geológico da área.....	166
Anexo 2 -	Sumário dos trabalhos realizados na área.....	167
Anexo 3 -	Mapa de Pontos (complementar) e medidas estruturais.....	168
Anexo 4 -	Perfil litológico do furo de sondagem 01.....	169
Anexo 5 -	Perfil litológico do furo de sondagem 08.....	170
Anexo 6 -	Perfil litológico do furo de sondagem 09.....	171
Anexo 7 -	Perfil litológico do furo de sondagem 02.....	172
Anexo 8 -	Perfil litológico do furo de sondagem 03.....	173
Anexo 9 -	Perfil litológico do furo de sondagem 04.....	174
Anexo 10 -	Perfil litológico do furo de sondagem 05.....	175
Anexo 11 -	Perfil litológico do furo de sondagem 06.....	176
Anexo 12 -	Painel com furos de sondagens.....	177
Anexo 13 -	Tabela 1 - Análise química de rocha. Total de elementos maiores e traços.....	178
Anexo 14 -	Análise química e distribuição cationicas em minerais silicatados.....	180
	Tabela 1 - Análise química de anfibólios.....	180

Tabela 2 - Análise química de serpentinas.....	187
Tabela 3 - Análise química de feldspatos.....	189
Tabela 4 - Análise química de cloritas.....	193
Tabela 5 - Análise química de micas.....	195
Tabela 6 - Análise química de olivinas.....	196
Tabela 7 - Análise química de piroxênios.....	197
Tabela 8 - Análise química de granada.....	198
Tabela 9 - Análise química de epidotos.....	200
Tabela 10 - Análise química de titanitas.....	201
Tabela 11 - Análise química de carbonato.....	202
Tabela 12 - Análise química de sillimanita e estau- lita.....	203
Anexo 15 - Tabela 1 - Análises químicas para Ni-Cu-Cr e Zn em níveis sulfetados.....	204
Anexo 16 - Análise química e distribuição cationica dos mine- rais sulfetados.....	204
Tabela 1 - Análise química de pirrotitas.....	204
Tabela 2 - Análise química de pentlanditas.....	209
Tabela 3 - Análise química de pirritas.....	210
Tabela 4 - Análise química de calcopirritas.....	211
Tabela 5 - Análise química de esfaleritas.....	212
Anexo 17 - Análise química e distribuição cationica de minerais óxidos.....	213
Tabela 1 - Análise química de cromo-espinélio.....	213
Tabela 2 - Análise química de magnetita.....	214
Tabela 3 - Análise química de ilmenita.....	215
Tabela 4 - Análise química de rutilo.....	216

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Principais transformações apresentadas pelos minerais presentes na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG).....	58
Quadro 2 - Principais feições deformacionais para os minerais (mais comuns) na sequência vulcano-sedimentar de Al- pinópolis (MG).....	105
Quadro 3 - Temperaturas de recristalização para alguns minerais formadores de rocha.....	106
Quadro 4 - Principais grupos litológicos, feições primárias e fácies metamórficas.....	109

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 - Visão panorâmica da área em estudo.....	30
Fotografia 2 - Sulfeto maciço brechado - aspecto textural.....	115
Fotografia 3 - Sulfeto semi-macioso brechado - aspecto textural.....	115
Fotografia 4 - Sulfetos disseminados - aspecto textural.....	116
Fotografia 5 - Pirrotitas disseminadas ao longo da foliação cataclástica.....	116
Fotografia 6 - Associação mineral de pirita, pirrotitas e si- licática estirados e rompidos segundo a direção da foliação principal.....	117
Fotografia 7 - Bandamento tectônico em metaperidotito causado pela alternância de minerais silicáticos e	

	wustitas.....	117
Fotografia 8 -	Concentração sulfetada (pirrotita), originando semi-macico em zonas de brechação.....	118
Fotografia 9 -	Sulfetos semi-macicos em zonas brechadas e convertendo clastos.....	118
Fotografia 10 -	Sulfeto macico envolvendo boudins silicáticos de dimensões centimétricas.....	119

ÍNDICE DE FOTOMICROGRAFIAS

Fotomicrografia 1 -	Clorita-actinolita/tremolita xisto com pseudomorfos de olivina.....	42
Fotomicrografia 2 -	Núcleos preservados de olivinas em clorita-tremolita xisto com olivina.....	42
Fotomicrografia 3 -	Núcleos preservados de olivina em processo de Serpentinização.....	42
Fotomicrografia 4 -	Clorita-tremolita/actinolita xisto portador de Textura "Spinifex".....	42
Fotomicrografia 5 -	Cristais de actinolita/tremolita em serpentinito sofrendo processos de cloritização e serpentinição.....	46
Fotomicrografia 6 -	Aspecto textural de carbonato serpentinito da suite metaultrabásica/metaultramáfica..	46
Fotomicrografia 7 -	Minerais de piroxênios () sendo transformados em actinolita/tremolita.....	46
Fotomicrografia 8 -	Hornblenda xisto da suite metaultrabásica/metaultramáfica aspectos texturais.....	46
Fotomicrografia 9 -	Talco xisto, feições texturais.....	54
Fotomicrografia 10 -	Associação mineralógica característica de albita anfibolito.....	54
Fotomicrografia 11 -	Clinozoisita-actinolita-quartzo fels da suite metassedimentar.....	54
Fotomicrografia 12 -	Biotitas alternando-se para cloritas em granada biotita xisto (metassedimento)....	54
Fotomicrografia 13 -	Sillimanita-biotita xisto (metassedimentos) portador de estauroлита.....	59
Fotomicrografia 14 -	Sillimanita-biotita xisto (metassedimentos) portador de granada.....	59
Fotomicrografia 15 -	Granada antofilita xisto (metassedimentos turfáceos) mostrando substituição de antofilitas por biotitas.....	59
Fotomicrografia 16 -	Cristais de plagioclásio com microboudinagem, geminação polissintética, kink bands recristalização nas bordas e quartzo com extinção ondulante. Aspectos microtectônicos.....	59
Fotomicrografia 17 -	Hornblenda xisto mostrando processos de recristalização. Aspecto microtectônico....	100
Fotomicrografia 18 -	Porfiroblasto de granada exibindo sombra de pressão. Aspecto microtectônico.....	100
Fotomicrografia 19 -	Kink bands em biotitas cloritizadas. Aspectos microtectônicos.....	100
Fotomicrografia 20 -	Fraturas tardias preenchidos por carbonatos. Aspectos microtectônico.....	100
Fotomicrografia 21 -	Microdobras em actinolita/tremolita biotita xisto. Aspecto microtectônico.....	102
Fotomicrografia 22 -	Foliação principal desenvolvida nas rochas da área estudada. Aspecto microtectônico..	102

Fotomicrografia 23	- Piritas e pirrotitas com granulações grosseiras, fina quando em zona de cataclase...	121
Fotomicrografia 24	- Piritas, pirrotitas, calcopirita e blenda localmente formando concentrações maciças de sulfetos.....	121
Fotomicrografia 25	- Esfarelitas e piritas preenchendo zonas de fraturas paralelas à foliação principal da rocha.....	121
Fotomicrografia 26	- Pirrotitas, esfarelitas, calcopiritas e piritas preenchendo fraturas perpendiculares à foliação principal da rocha.....	121
Fotomicrografia 27	- Piritas eudrais e pirrotitas subeudrais exsolução de pentlandita.....	123
Fotomicrografia 28	- Pirrotitas com granulação grosseira, portadoras de exsolução de calcopirita.....	123
Fotomicrografia 29	- Pirrotitas parcialmente recristalizados em zonas de moagem.....	123
Fotomicrografia 30	- Sulfeto maciço bandado exibindo franja de recristalização.....	123
Fotomicrografia 31	- Aspectos de 2 gerações de pirita, controlados por foliações distintas.....	126
Fotomicrografia 32	- Piritas e pirrotitas em fraturas com diferentes orientações.....	126
Fotomicrografia 33	- Piritas e pirrotitas (fracamente disseminadas) originais associadas a wustitas em matriz peridotítica.....	126
Fotomicrografia 34	- Aspectos de 2 gerações de piritas, ambas recristalizadas.....	126
Fotomicrografia 35	- Calcopiritas substituindo pirrotitas do centro para as bordas.....	130
Fotomicrografia 36	- Pentlanditas e magnetitas em matriz peridotítica.....	130
Fotomicrografia 37	- Substituição de rutilos por ilmenita.....	130
Fotomicrografia 38	- Substituição de rutilo por ilmenita.....	130
Fotomicrografia 39	- Magnetitas com lamelas de alteração (martiritização) para hematita.....	132

1. INTRODUÇÃO

1.1. Definição de propósitos e objetivos dos estudos

O estudo metalogenético pormenorizado de áreas arqueanas contendo sequências vulcano-sedimentares, é uma necessidade para que se possa compreender a natureza dos processos geológicos envolvidos nesses terrenos e especialmente aqueles passíveis de formarem mineralizações.

Por "estudo metalogenético pormenorizado" entende-se todos os trabalhos de mapeamento geológico detalhado e análises laboratoriais, envolvendo caracterização petrológica, metamórfica, estrutural, química e estratigráfica de uma área e suas mineralizações. Essa metodologia em estudar simultaneamente e comparativamente, utilizando-se das mesmas técnicas geológicas, para as concentrações minerais e suas respectivas encaixantes, permite a elaboração de hipóteses genéticas dinâmicas (as concentrações minerais são explicadas como consequência da evolução geológica da área) em oposição a hipóteses genéticas estáticas (as concentrações minerais são explicadas sem levar em consideração a evolução geológica da área). Esse tipo de abordagem corresponde em essência a nova concepção de metalogênese introduzida por De Launay (1913). É com este propósito que procuramos proceder a uma análise metalogenética de uma área onde ocorrem associações vulcano-sedimentares contendo níveis sulfetados em profundidade. Esta área é parte integrante do Greenstone-Belt "Morro do Ferro" no Estado de Minas Gerais.

Para o estudo metalogenético proposto nesta pesquisa, e para que esses estudos possam servir como embasamento de trabalhos posteriores de cunho regionais e interpretativos, foram necessários trabalhos em pormenores na área cuja escolha se deu em função dos resultados obtidos em trabalhos prospectivos e geológicos regionais, realizados com a participação do autor. Os referidos trabalhos constaram de:

Estudo das rochas encaixantes dos níveis sulfetados.

Os estudos tiveram os seguintes objetivos específicos ou intermediários:

Caracterização espacial dos diversos tipos litológicos que compõem a sequência vulcano-sedimentar na área.

Caracterização estrutural da área.

Caracterização do metamorfismo e definição das principais paragêneses metamórficas da área, com tentativa de recuperação da mineralogia primária.

Caracterização química dos diferentes tipos litológicos e mineralógicos.

Caracterização tentativa da estratigrafia e evolução geológica da área em estudo.

Estudo da paragênese mineralógica e temporal dos Níveis Sulfetados da sequência Vulcano-Sedimentar.

Os trabalhos realizados, assim como as técnicas utilizadas tiveram como objetivos mais específicos, a:

Caracterização dos sulfetos e óxidos presentes bem como suas principais paragêneses mineralógicas e temporais.

Determinação dos teores dos corpos sulfetados.

Determinação do quimismo dos sulfetos, através de microsonda eletrônica.

Estudos de Integração e Interpretação de Dados

A integração e interpretação dos dados obtidos nas encaixantes e nos níveis sulfetados, foram correlacionados desdobrando-se então num modelo genético/evolutivo compatível com as características das zonas mineralizadas, uma vez que elas constituem o objeto principal da pesquisa efetuada.

1.2. Situação da área

A área alvo do presente estudo situa-se no município de Alpinópolis (sul de Minas Gerais) e está contida na Folha Alpinópolis, SF-23-V-B-IV-3, publicada em 1970 pelo IBGE, e mais precisamente entre os meridianos de $46^{\circ}22'$ e $46^{\circ}25'$ a oeste de Greenwich e entre os paralelos $20^{\circ}53'$ e $20^{\circ}55'$, a sul do equador, abrangendo uma área de 900 ha. A figura 1 ilustra com detalhe a localização da área assim como o sistema viário de acesso a região e também a cidade mais próxima da mesma.

O clima atuante na região estudada segundo a classificação de Koeppen (in Silva e Seixas, 1977) é tropical de altitude, o que leva a existência de duas estações bem definidas, ou seja verão (outubro a março, com temperatura máxima de 35°C), e inverno (abril a setembro, com temperatura mínima de 8°C). Em termos geomorfológicos esta região está situada no planalto do Rio Grande (Seixas e Silva op.cit.), com altitudes médias em torno de 900 m, raramente atingindo mais que 1000 m. Como principais elementos drenantes regionalmente destaca-se a represa de Furnas e o Rio Grande que constituem níveis de base local para o sistema fluvial da região.

O acesso a área pode ser feito através da combinação de estradas asfaltadas e estrada de terra. Partindo-se de São Paulo, a região é atingida, após um percurso de 350 Km. Para tanto deve-se utilizar a rodovia Anhanguera até as imediações de Campinas; SP 340 que leva aos arredores de Mococa, e finalmente a BR-491 até as proximidades de Alpinópolis. Em seguida são percorridos 6 Km em estrada de terra, no sentido Alpinópolis - Nova Resende.

1.3. Trabalhos Prévios Existentes Para a Área

Os primeiros trabalhos geológicos executados em rochas da Sequência Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro, tinham objetivos mineiros e foram realizados pela Companhia Eletro-metalúrgica de Ribeirão Preto, que explorou os depósitos de hematita do Morro do Ferro por três anos (1922 - 1925). Durante os trabalhos de avaliação desta jazida foram feitas algumas escavações no então denominado Morro Pelado (hoje Morro do Níquel), constatando-se a presença de pequenos veios de garnierita. A primeira descrição desta jazida coube a Moraes (1935) em seu clássico trabalho "Níquel no Brasil", onde faz algumas considerações sobre o caráter intrusivo do corpo serpentinitico na Série Minas, tecendo ainda considerações sobre o potencial do depósito.

Trabalhos posteriores, Santivanéz (1965), Svesseon (1968) e Griffon & Richter (1976) respectivamente, tratam da viabilidade econômica do depósito e da metalurgia do níquel silicatado, mantendo a geologia descrita por Moraes (op.cit.).

Alecrim & Pinto (1980) executaram uma campanha de prospecção geoquímica regional nas proximidades de Fortaleza de

Minas (Morro do Ferro), visando a detecção de possíveis anomalias de Pb, Zn, Cu, Co, Mn e Cr nas diferentes unidades litológicas localmente expostas (Pré-Cambriano indiviso, Grupo Araxá e Sequência Morro do Ferro).

Carvalho et al (1983) fazem um estudo de natureza prospectiva na região de Fortaleza de Minas. Neste trabalho os dados de geoquímica de solo foram tratados estatisticamente, revelando três anomalias geoquímicas superpostas (Ni-Cu e Co) numa área de 4 Km² (rigorosamente neste local é que foi descoberto o depósito de Ni-Cu-Co, pela BP-Mineração, em Fortaleza de Minas).

Soares et al (1985) fazem um trabalho pioneiro específico para a área e Alpinópolis, estimando preliminarmente, através do método geoestatístico da krigeagem, os teores em ppm de Cu, Zn e Ni, obtidos a partir da análise de furos de sondagem.

Germani et al (1985) apresentam o projeto conceitual de lavra do depósito mineral de níquel (depósito O'Toole) descoberto na sequência vulcano sedimentar Morro do Ferro, a 4 Km da cidade de Fortaleza de Minas (MG).

Com relação à geologia local, Teixeira (1978, 1979 a e b) fez um detalhado trabalho de cunho petrográfico, geoquímico, estratigráfico, tectônico e econômico. Define na área uma sequência vulcano-sedimentar do tipo "greenstone belt", por ele denominado "Cinturão Vulcano-Sedimentar Morro do Ferro". Como embasamento deste cinturão reconhece os migmatitos, granitos e gnaisses descritos por Brandalise et al (1972) e Silva & Seixas (1977). Com base em critérios metamórficos e estruturais, subdivide o Grupo Araxá, que localmente se sobrepõe discordantemente às litologias do cinturão vulcano-sedimentar, como sendo constituído por duas sequências, uma basal (Itaú), e outra superior (Passos), sotopostas aos metassedimentos da Formação Canastra.

Carvalho et al (1982) realizam estudos petrológicos/petrográficos das rochas básicas/ultrabásicas presentes nos arredores de Fortaleza de Minas, Jacuí, Alpinópolis e Nova Resende, mostrando que apesar do metamorfismo e retrometamorfismo por elas sofrido foi possível o reconhecimento de komatiitos peridotíticos, piroxeníticos e basálticos na área.

Choudhuri et al (1982) discutem os aspectos texturais e estruturais de possíveis derrames a norte de Petúnia, descrevendo pela primeira vez a presença de texturas "spinifex", nos arredores de Alpinópolis.

Morales et al (1983) abordam a geologia das folhas de Fortaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí e Nova Resende, enfocando aspectos litológicos, estratigráficos e estruturais.

Oliveira et al (1983), descrevem os aspectos litológico, estratigráficos e estruturais das folhas de Cássia e São Sebastião do Paraíso, discutindo as relações entre o Grupo Araxá e o embasamento cristalino.

Schmidt (1983), fazem uma ampla regionalização, com detalhamento petrológico da sequência Morro do Ferro.

Marchetto et al (1984) e Teixeira et al (1984) apresentam dados de natureza petrológica/petrográfica relacionados a diferentes locais do "greenstone belt Morro do Ferro", discutindo ainda as implicações geotectônicas desta estruturação no contexto evolutivo da região.

Trouw et al (1984), consideram os Grupos Araxá e Canastra como cronocorrelatos, correlacionando-os aos Grupos São João Del Rei, Carrancas e Andrelândia.

Correia (1986), em tese de mestrado apresenta um esboço da delimitação de zonas metamórficas na Região de Cássia, utilizando além dos métodos convencionais de petrografia, geotermometria de anfíbolitos.

Heilbron et al. (1987) abordam com detalhe a estratigrafia local, reafirmando o caráter transicional do metamorfismo e da sedimentação dos Grupos Araxá e Canastra, utilizando o termo "Grupo Araxá/Canastra" propondo um modelo de evolução estrutural para a Nappe Araxá/Canastra, envolvendo deformações progressivas, associadas com cisalhamento dúctil.

Teixeira et al (1987), apresentam um trabalho de síntese geológica, com base em grande volume de dados geológicos acumulados pela BP-Mineração incluindo análises químicas, trazendo uma nova interpretação sobre o posicionamento geotectônico dessas sequências vulcano-sedimentares.

Simões et alii (1988), estudam o metamorfismo local impresso nas rochas do Grupo Araxá/Canastra definindo para a área um zoneamento metamórfico invertido, variável entre fácies xisto verde e fácies anfíbolito, incrementado de leste para oeste.

Além desses, existem outros trabalhos com enfoque geológico regional, onde estão consubstanciados importantes informações para esta área, descritos no capítulo 3.

2. METODOLOGIA

No presente capítulo é apresentado um sumário dos procedimentos empregados que resultaram na escolha da área de trabalho, elaboração do mapa geológico, e também das técnicas analíticas utilizadas para a obtenção de dados específicos, objetivando hipóteses genéticas de caráter explicativo.

A área de estudo figuras (1 e 2) foi escolhida a partir de estudos bibliográficos, reconhecimento geológico, trabalhos de geoquímica de solo (sedimentos de corrente e encosta) e avaliação metalogenética, sendo todos estes trabalhos de cunho regional.

Nesta área escolhida como potencialmente favorável à presença de mineralizações sulfetadas desenvolveu-se trabalhos de natureza geológico/prospectivos em etapas sucessivas, cada qual determinada pela avaliação dos resultados obtidos nas fases precedentes, conforme rotina de programas dessa natureza.

Os trabalhos discriminados abaixo (serviços de apoio, levantamentos geológicos em várias escalas, levantamentos geoquímicos, geofísicos e sondagens) foram conduzidos por uma equipe técnica constituída pelos seguintes profissionais:

- Paulo Cesar Soares e Alberto Pio Fiori - Professores da Universidade Federal do Paraná (U.F.P.R.)
- Pedro Alberto Bignelli, José Antonio Scabora, Evandro Cardoso Cintra, Harmi Takia e Renato de Souza - Estagiários (alunos do curso de geologia da Unesp)
- Carlos Roberto de Camargo - Geólogo da Empresa de Mineração J.S. Ltda
- Sebastião Gomes de Carvalho - Professor da Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Todos os trabalhos citados acima foram custeados pela Empresa de Mineração J.S. Ltda detentora dos alvarás de pesquisa para a área. Os resultados e documentos obtidos durante a realização destes trabalhos encontram-se em Camargo et al (1986).

2.1. Trabalhos de campo

Serviços de apoio

Esses serviços foram necessários para viabilizar

os trabalhos direcionados para localização de possíveis concentrações minerais e constaram de:

- Levantamento de 31 Km de linhas topográficas, com piqueteamento sistemático.

- Em locais com capeamento de solo e/ou cobertura coluvial, ou ainda com anomalias geoquímicas de solo, foram escavados um total de cerca de 50 m de poço tipo cisterna e cerca de 700 m lineares de trincheiras.

Levantamentos geológicos

A partir de fotografias aéreas (1:25.000) do IB-GERCA (1979), ampliadas para a escala de 1:10.000, confeccionou-se o mapa geológico da área, na escala de 1:25.000, após descrição e estudo de 160 afloramentos em uma área aproximada de 900 ha. Com a evolução dos trabalhos, parte desta área foi remapeada nas escalas de 1:10.000, 1:5.000 e 1:1.000, com confecção dos respectivos mapas geológicos. Em alguns locais com furos de sondagens foram confeccionados mapas lito-estruturais, em escala de até 1:200. No presente estudo optou-se pela utilização de mapa geológico na escala 1:5.000 (anexo 1).

Os dados estruturais lineares e planares obtidos durante os trabalhos de mapeamento geológico (em todas as escalas), foram inventariados e lançados em diagramas de igual área (Schmidt Lambert), com projeção de seus polos no hemisfério inferior. A contagem para se traçar as curvas de isoporcentagens foi feita através do diagrama de Vistelius.

Levantamentos geoquímicos

Utilizando-se de diferentes técnicas de amostragem e métodos, dependentes das etapas do trabalho, foram coletadas 1.430 amostras para dosagens químicas e contagem de pintas de ouro, sendo 76 em sedimentos ativos de drenagem, 268 em poços e trincheiras, 60 em solo de encosta, 746 de solo (amostragem sistemático), 230 em testemunhos de sondagens e 50 concentrados de batéia.

Em parte das amostras foram dosados Ni, Cr, Co, Cu, Zn e Pb, e nas demais apenas Ni, Cu e Zn. Esporadicamente foram analisados os elementos Au, Ag e Mn.

Levantamentos geofísicos

Os levantamentos geofísicos constaram de magnetometria (27,3 Km de perfis), eletromagnetometria (EM) totalizando 23,8 Km, e polarização induzida (IP), em caráter experimental, recobrando aproximadamente 3 Km de linhas.

Os anexos 2 e 3 mostram compactamente os trabalhos e metodologias utilizados nos trabalhos de campo.

Sondagens

O programa de sondagens, contou com a utilização de sondas rotativas, atingindo-se um total de mais de 1000 m perfurados. Os perfis geológicos bem como os resultados analíticos dos furos escolhidos para figurarem neste trabalho, estão expressos na forma de anexos (4,5,6,7,8,9,10,11 e 12).

2.2. Trabalhos de laboratório

Foram utilizadas diferentes técnicas e métodos laboratoriais, em etapas sucessivas, após avaliação da resposta obtida com o método anterior, e de acordo com a evolução do conhecimento geológico na área.

Estudos petrográficos

Foram confeccionados nos laboratórios da UNESP 180 lâminas delgadas sendo 70 de amostras de superfície e 110 de testemunhos de sondagens, que permitiram caracterizar as diferentes litologias da área.

Paralelamente a esse trabalho, confeccionou-se também 60 seções polidas em laboratórios da USP e UNESP para o estudo dos minerais opacos (sulfetos e óxidos) permitindo assim a identificação de suas paragêneses.

Análises químicas

Com o estudo das lâminas delgadas, selecionou-se 24 amostras de rochas para determinação de suas composições químicas (elementos maiores e traços). As análises químicas foram

efetuadas pela empresa Geosol que utilizou para dosagem de elementos maiores o método de espectrofotometria de absorção atômica após abertura por HF e HNO₃. Para elementos menores e traços foi utilizado espectrometria de plasma ICP. Após abertura por fusão de ácidos fortes a quente (Anexo 13).

Os resultados analíticos das amostras coletadas com objetivos prospectivos, foram em parte solo e sedimentos de corrente, cujos teores foram determinados utilizando-se o mesmo laboratório e as mesmas técnicas analíticas citadas acima. Estas amostras foram estudadas por métodos geoestatísticos (média, desvio padrão, krigeagem, análise de tendência, etc.), enquanto que os demais (testemunhos de minerais e rochas) foram plotados ao longo dos perfis dos furos, visando conhecer a distribuição dos teores dos elementos dosados (167 análises) ao longo dos furos de sondagens (Anexo 15).

Estudos em microsonda eletrônica

O estudo petrográfico e químico das amostras evidenciou a necessidade de pormenorizar aspectos quantitativos do quimismo dos minerais formadores de rocha e do minério. Com respeito aos minerais silicáticos foram efetuadas um total de 392 análises pontuais, enquanto que para sulfetos e óxidos foram realizadas respectivamente 111 e 58 análises pontuais (Anexos 14, 16 e 17 respectivamente).

Ambos os estudos foram realizados na superintendência de tecnologia da Cia. Vale do Rio Doce, em Belo Horizonte (MG), em uma microsonda de marca Jeol modelo JCXA-733 com limite de detecção da ordem de 500 ppm.

2.3. Mapa geológico final

A confecção do mapa geológico final (anexo 1), envolveu a integração de todos os dados obtidos e descritos neste capítulo (2.1 e 2.2).

3. GEOLOGIA REGIONAL E EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO GEOLÓGICO

3.1. Introdução

As manifestações vulcano-sedimentares arqueanas (Greenstone Belt Morro do Ferro) nas proximidades dos municípios de Fortaleza de Minas, Alpinópolis, Jacuí e Nova Resende, no sudoeste do estado de Minas Gerais, estão implantadas em uma área do embasamento cristalino pertencente ao chamado Complexo Campos Gerais (Cavalcante et al, 1979) e Fonseca et al (1979). Possivelmente este complexo representa o Grupo Barbacena intensamente cisalhado e cortado por um sistema de falhas NW (Wernick e Fiori, 1979). Ao norte esta área cristalina é delimitada pelo Grupo Araxá/Canastra; a oeste pelo Grupo Araxá/Canastra e sedimentos carboníferos da Bacia do Paraná; ao sul por rochas gnáissicas granulíticas do Complexo Varginha/Guaxupé. Localmente entre o Complexo Campos Gerais e Grupo Araxá/Canastra ocorrem manchas de dimensões variáveis, atribuídas ao Grupo Bambuí (Teixeira et al, 1987) ou ao Grupo Araxá/Canastra (Simões et al, 1988) como nos arredores de Carmo de Rio Claro (Figura 2).

3.2. Descrição das unidades litológicas

Complexo Campos Gerais

O assim chamado Complexo Campos Gerais corresponde a uma entidade heterogenea constituída de 3 porções distintas (Cavalcante 1979; Teixeira e Danni 1979 A e B; Carvalho 1982; Carvalho et al 1982 e 1983; Morales et al 1983; Oliveira et al 1983; Crosta et al 1986; Teixeira et al 1987).

A primeira e mais antiga é constituída por migmatitos, gnaisses e granitóides. Os migmatitos possuem estruturas agmatíticas, schollen Schlieren, acamados e dobrados, tendo como paleossoma gnaisses, anfíbolitos, granulitos e rochas ultrabásicas (hornblenditos, actinolititos) sendo que o neossoma geralmente é representado por material granitóide, diorítico e granítico. Os gnaisses predominantemente são do tipo biotita e/ou hornblenda gnaisses, exibindo estruturas facoidais, fitadas e bandadas. Par-

CARTA GEOLÓGICA DOS ARREDORES DE FORTALEZA DE MINAS E ALPINÓPOLIS (MG)

(FONTE: CARTA GEOLÓGICA DO BRASIL AO MILIONÉSIMO, FOLHA DO RIO DE JANEIRO, 1978, MODIFICADO)

FIG. 2

— CONVENÇÕES GEOLÓGICAS —

- Contato Definido
- - - - - Contato Inferido
- - - - - Falha Inferida
- Falha Indiscriminada
- ▲-▲-▲ Falha Inversa ou de Empurrão

ESCALA - 1:1.000.000

0 10 20

— LEGENDA —

41m.a.	FORMAÇÃO SERRA GERAL
basaltos com "sills" de diabásio e arenitos não diferenciados. "Sills" e diques de diabásio.	MESOZOICO
	FORMAÇÃO BOTUCATU
arenitos.	
570m.a.	FORMAÇÃO ITARARÉ
granitos, siltitos, diamictitos e ritmitos.	PALEOZOICO
	GRUPO BAMBUÍ
argilitos e siltitos, com termos carbonáticos e conglomeráticos minoritários; calcários, conglomerados; siltitos e arcósios.	
	GNAISSES E XISTOS GRANATÍFEROS	
1000m.a.	GRUPO SÃO JOÃO DEL REI
filitos, metassiltitos, metagrauvacas, xistos, quartzitos, metaconglomerados, talco xisto, quartzitos.	PROTEROZOICO SUPERIOR
	GRUPO CANASTRA
filitos, senciço-xistos, micaxistos granitíferos, quartzitos sericiticos, com intercalações de filitos, senciço-xistos e xistos calcíferos, micaxistos, em parte granitíferos, gnaisses finos, calcários, quartzitos individualizados.	ARQUEANO À PROTEROZOICO MÉDIO
1800m.a.	COMPLEXO VARGINHA-GUAXUPÉ
gnaisSES e granulitos, charnockitos, granulitos diversos e migmatitos, migmatitos de estruturas diversas.	
	SEQUÊNCIA VULCANO SEDIMENTAR MORRO DO FERRO
talco xisto, tremolito xistos, clorito xistos, serpentinitos, com intercalações de meta-sedimentos diversos.	ARQUEANO
	COMPLEXO CAMPOS GERAIS/GRANITO BARBACENA
xistos e gnaisses com termos migmatíticos e facieses subgranuladas e frequentes intercalações de metatritobasitos e calcissilicatos, zona de maior incidência de ultrabásitos e metaultrabásitos.	

te desses gnaisses que ocorrem regionalmente, correspondem a migmatitos transpostos, originando estruturas do tipo embrechítico. Rochas de composição granítica muito deformadas e migmatizadas chegam a constituir pequenos domínios individualizadas nestas áreas. Como é o caso a norte de Jacui (granitos potássicos) e ao norte de Bom Jesus da Penha (granitos tonalíticos).

A segunda aflorando em áreas estreitas (máximo de 3 Km) e descontínuas por cerca de 60 Km com direção geral N30W-EW, constitui o cinturão vulcano-sedimentar "Morro do Ferro". (Fig.2). As rochas predominantes são principalmente tremolita-xistos, talco xistos, serpentinitos e anfibolitos, acompanhadas de xistos metassedimentares, meta chert e formações ferríferas bandadas. Quimismo, além de outras feições típicas de komatiitos (textura Spinifex e almofadas, etc.) tem sido descritos em vários locais desta unidade (Teixeira e Danni, 1978; Choudhuri e Szabó 1982 e Schmidt 1983).

A terceira porção corresponde a uma unidade de rochas cataclásticas, constituída por rochas do embasamento, cinturão vulcano-sedimentar e Grupo Araxá/Canastra desenvolvida em zonas paralelas de falhamentos lineares com direção geral N30W continua por mais de 200 Km. Localmente atinge mais de 30 Km de largura e é responsável pela estruturação das sequências vulcano-sedimentares, bem como de outros corpos ultramáficos intrusivos (morro do Níquel e Plugs diversos). Vale ressaltar que esta unidade afeta rochas de todas as idades (arqueano ao proterozóico superior), o que aponta para possíveis reativações da mesma ao longo do tempo.

Complexo Varginha/Guaxupé

O termo "Grupo Varginha" foi criado por Ebert (1971), para designar uma faixa de metassedimentos com alto grau metamórfico na região de Cambuquira-Três Corações-Varginha e que constituía a parte central do ramo Araxaíde.

Cavalcante et al (1979) amplia a área de ocorrência desse Grupo até a região de Guaxupé, englobando neste, outras litologias, além daquelas propostas por Ebert (1971). Em consequência passou a utilizar o conceito "Complexo Varginha".

Fonseca et al (1979), utilizam a expressão Complexo Varginha/Guaxupé, após excluir de seu bordo oriental gnaisses

e micaxistos com intercalações quartzíticas.

Hasui e Oliveira (1984) voltam a utilizar o termo "Complexo Varginha", conforme proposto por Cavalcante (1979).

Esse complexo é caracterizado pela presença de rochas na facies granulito e anfibolito, mais ou menos migmatizadas e retrometamorfizadas policiclicamente. O complexo conforme pode se observar na Figura 2, exibe um zoneamento litológico com rochas gnaissicas no seu extremo norte, rochas charnockíticas na porção central e migmatitos e granitóides diversos a sul.

Grupo Araxá/Canastra

O Grupo Araxá, definido por Barbosa (1955) como de idade pré-cambriana média constitui-se de migmatitos, gnaisses, micaxistos, quartzitos, xistos verdes e filitos. Estas litologias compoariam na região duas unidades distintas separadas por uma discordância angular:

Unidade Basal - mais velha

Unidade Superior - mais jovem

Essa definição original foi posteriormente ampliada, modificada e redefinida por vários autores, incluindo o próprio Barbosa e Colaboradores (1970 b) que restringiram a significação de Grupo Araxá para quartzitos e xistos com duas micas, granadas, rutilo, zircão, turmalina, cianita e estauroлита. Trabalhos posteriores como os de Dani et al, (1973); Marini et al, (1974), restringiram o Grupo Araxá a rochas da facies do anfibolito.

Regionalmente na área (figura 2) o grupo Araxá é constituído por granada muscovita xistos com lentes de cianita xistos, oligoclásio - biotita-xisto; quartzo xistos e gnaisses (Morales, 1983; Teixeira e Danni, 1978; Heilbron, 1987).

A idade do Grupo Araxá é controvertida, tendo sido atribuída ao Ciclo Uruaquano por Almeida, (1967 a, 1968) e Hasui e Almeida (1970); Almeida et al (1976); Marini et al (1976); Wernick e Hasui (1975) e ao proterozóico inferior por Morales et al (1983).

O Grupo Canastra, sotoposto ao Grupo Araxá, de acordo com Barbosa (1955, 1969, 1970 a, 1970 b) engloba rochas com baixo grau de metamorfismo (fácies xisto verde) onde predominam quartzitos, filitos prateados e filitos grafitosos com piri-

ta, quartzo-muscovita-sericita xistos, muscovita-biotita xistos e lentes de metacalcários.

Geograficamente tem como área de ocorrência os Estados de Minas Gerais e Goiás. A Figura 2 mostra a distribuição regional desse Grupo em relação a área de trabalho.

Datações obtidas pelo método K/Ar sobre as formações deste grupo dão idades que variam de 450 - 480 m.a. (Hasui e Almeida 1970).

Apesar das várias definições apresentadas para os grupos Araxá e Canastra, tem sido difícil caracterizá-los na região, em razão do seu caráter aloctone e também por causa das suas variações metamórficas e sedimentares, nem sempre bem entendida em um contexto mais geral. Heilbron et al. (1987) utiliza o termo "Grupo Araxá/Canastra" para as litologias presentes na área geográfica da Fig. 2, advogando não existir nenhuma diferença no comportamento estrutural e metamórfico que justifique a individualização dos dois referidos grupos. A maior frequência de quartzitos na parte basal desta sequência (Grupo Canastra) pode simplesmente representar uma fácies sedimentar mais proximal; enquanto que a sedimentação mais imatura e com contribuição vulcânica, caracterizaria o Grupo Araxá.

Independente da discussão sobre o que representa o Grupo Araxá e/ou Canastra, trabalhos de natureza petrográfica, estrutural e metamórficos realizados na região por diversos autores (Schmidt e Fleicher, 1978; Teixeira, 1978; Teixeira e Danni, 1978; Machado Filho et al, 1983; Oliveira et al, 1983; Morales et al, 1983; Trow et al, 1984; Correia, 1986 e Heilbron et al, 1987), mostram a existência regional da seguinte sequência litológica:

- Em contato discordante com rochas do Complexo Campos Gerais, se inicia um pacote de rochas metassedimentares constituída por biotita-muscovita-clorita xisto, com intercalações de lentes centimétricas a métricas de mármore e grauvacas finamente laminadas. Sobre esse pacote de muscovita-clorita xisto ocorre uma sequência estratificada de rochas quartzíticas contendo maiores ou menores quantidades de micas, níveis de metagrauvacas e rochas metabásicas de natureza anfibolítica. Este conjunto de rochas é que vem sendo descrito como Grupo Canastra ou ainda Formação Canastra (Teixeira e Danni, 1978).

- Imediatamente sobre este Complexo, ocorrem rochas gnaissicas, que gradam para uma sequência estratificada composta por muscovita-biotita xistos contendo ou não granada, cianita e estauroлита, dependendo de sua composição química e metamorfismo. Nesse pacote é comum ocorrer interestratificadamente bancos de gnaisses grosseiros, lentes gondíticas, muscovita quartzo xisto, anfibolitos e níveis de rochas calcio-silicatadas. Este conjunto de rochas vem sendo descritos como Grupo Araxá.

- Todo o conjunto (Araxá e Canastra) foi intensamente deformados, podendo ser identificadas pelo menos 4 fases de deformações (Heilbron 1987) e um gradiente metamórfico invertido, transicional e crescente para oeste que varia desde a zona da biotita, fácies xisto verde, até a fácies anfibolito.

A existência de rochas de mais baixo grau metamórfico (Grupo Canastra) estruturalmente abaixo de rochas de grau metamórfico mais alto (Grupo Araxá), foi inicialmente explicado por Schmidt e Fleischer (1978), que admitiram que os Grupos (Araxá e Canastra) comporiam na região uma super-estrutura alóctone (Nappe de charriage) cavalgando rochas do Complexo Campos Gerais na região de Passos (MG) e rochas do Grupo Bambuí na região de Carmo de Rio Claro (MG). Esta mesma hipótese ou seja a disposição dessas rochas em flanco invertido de nappe pós metamórfica e mantida por Teixeira e Danni (1978) é confirmada posteriormente por Oliveira et al (1983); Morales et al (1983); Heilbron et al (1987); Simões et al (1988), para explicar a inversão metamórfica.

Grupo Bambuí

As litologias tidas como pertencentes a este grupo (Fig. 2) estão restritas a uma pequena ocorrência nos arredores da cidade de Carmo de Rio Claro (Schmidt e Fleischer, 1978; Calvalcante et al, 1979; Fonseca et al, 1979; figura 2). Essa porção representaria um processo de sedimentação tardio, em pequenas bacias formadas durante a sedimentação Bambuí no Brasileiro (Teixeira et al, 1987). Essa sequência é constituída de ardósia, filitos com lentes de mármore, metadiamicctitos (conglomerado Polimítico mal selecionado com matriz micácea), quartzo-conglomerado, filitos de coloração cinza a esverdeado e clorita quartzo-serici-

ta-ardósia.

Na base desta sequência, próximo a Carmo do Rio Claro, Heilbron et al. (1987) descrevem formações ferríferas bandadas, filitos hematíticos, cromititos, metagrauvacas e ardósias de composição básica. A presença desse cotejo litológico estranho ao Grupo Araxá e ocupando as porções basais da sequência, sugere idades pré Araxá para as mesmas ou ainda que elas façam parte da sequência vulcano sedimentar do embasamento. De qualquer sorte, esta controvérsia ainda não foi resolvida.

3.3. Interpretação Geotectônica

Introdução

A elucidação das interrelações entre as unidades anteriormente descritas foi tentada através de variados modelos geotectônicos. Todos eles ressaltam que o Grupo Barbacena é o arcabouço litológico de uma área estável, correspondendo geotectonicamente a um cráton (cráton do São Francisco) circundado por várias faixas móveis.

As primeiras idéias sobre modelos geológicos para a região sudoeste de Minas Gerais devem-se a Ebert (1956a, 1957, 1962, 1968, 1971) quando distinguiu as faixas Araxaides e Paraíbides de idades assinticas, como parte integrante do Geossinclíneo Paraíba. A partir daí, o surgimento de novos dados geológicos, petrológicos, estruturais, bem como de novas interpretações geológicas, modificaram o modelo, bem como outros foram propostos, mas nenhum deles conseguiu mudar definitivamente o de Ebert (op.cit.). Todos eles ressaltam a importância do Grupo Barbacena, como arcabouço de uma área estável, circundado por cinturões móveis, conforme descritos a seguir e baseado principalmente em Carvalho (1983) e Artur (1988).

O modelo de Ebert

Para Ebert 1956a (In: Wernick, 1978a) ocorre nas regiões leste e sudeste, respectivamente nos estados de São Paulo e Minas Gerais, um cinturão orogênico de idade pré-cambriana superior (Geossinclíneo Paraíba), que contorna toda a parte sul do cráton do São Francisco. Este cinturão ao atingir o paralelo 22 S

(sul de Belo Horizonte) se bifurca em dois ramos, com direções aproximadas noroeste e sudoeste. O ramo com direção noroeste foi designado pelo autor, de "Araxaides", enquanto que o ramo infletindo para sudoeste, foi denominado de "Paraíbides" (figura 3).

Esse modelo inicial foi refinado por Ebert (1957, 1962, 1968, 1971) caracterizando para todo o cinturão (Araxaides, Paraíbides e parte indivisa), um zoneamento com a existência de três faixas distintas:

a) Uma faixa central, que corresponderia aos internídeos (ambiente eugeossinclinal) estratigraficamente representada pelos Grupos Paraíba e Juíz de Fora, que constitui a Serra do Mar (um mega anticlinal) e Vale do Paraíba (sinclinal). Esses grupos foram interpretados como sendo constituídos por rochas de catazona.

b) Uma faixa intermediária que corresponderia estratigraficamente aos grupos Andrelândia e Itapira (Paraíbides, SP) e Varginha (Araxaides, MG), depositados em ambiente de transição eu-miogeossinclinal (externídeos). Essa faixa é ainda caracterizada por uma tectônica de escamas, através de falhas de empurrão, associadas com transporte de massas contra o cráton provocando uma interação entre rochas do cinturão e seu embasamento (as rochas são de fácies anfibolito, com metamorfismo de alta pressão).

c) Uma faixa externa constituída por rochas formadas em ambiente de antepaís. Incluiria os Grupos São João Del Rey, equivalente ao Bambuí (Ebert, 1962) e Açungui (Ebert, 1968). As rochas são anquimetamórficas ou epizonais e caracterizadas por suaves falhamentos.

O embasamento desse cinturão seria representado por um complexo migmatítico, pela Formação Lafaete e pelo Grupo Barbacena.

Modelos de Almeida/Almeida et al.

Almeida e/ou Almeida e colaboradores (1967, 1968, 1976, 1978, 1979 e 1981) trabalhando na borda sul do cráton do São Francisco, concebe para a área 3 modelos geotectônicos distintos.

- Modelo da faixa de dobramentos Brasília.
- Modelo do maciço mediano de Guaxupé.
- Modelo do cinturão móvel Alfenas.

Almeida (1967, 1968) equalizou o ramo Araxaíde à faixa de dobramento Brasília por ele considerada como formada em ambiente miogeossinclinal e de idade brasileira.

Posteriormente Almeida et al (1976) subdivide a faixa Brasília em Cinturão Brasília (idade Brasileira e ambiente Miogeossinclinal) e Cinturão Uruaçu (de idade Uruaçuana, ambiente Eugeossinclinal). Para este autor o Cinturão Brasília seria formado pelos Grupos Arai, Canastra e Bambuí, enquanto que o Cinturão Uruaçuano englobaria os Grupos Araxá, Andrelândia e Itapira. A sul, em sua porção terminal o cinturão Uruaçuano, envolve uma área de forma triangular, constituída por rochas pré-uruacuanas migmatizadas e metamorfizadas na fácies granulito e anfibolito, injetadas por granitos brasileiros, definida por Almeida (1976) como maciço mediano de Guaxupé (Figura 4). A área geográfica desse maciço foi ampliada por Hasui et al (1978, 1980) por entenderem que este abrigaria também unidades pré-uruacuanas. Assim passaram a fazer parte do maciço de Guaxupé o Complexo Campos Gerais, Varginha-Guaxupé e os Grupos Amparo, Pinhal, Andrelândia/Itapira, além de porções do Complexo Barbacena.

Finalmente Almeida (1981) a partir da integração de vários trabalhos geológicos propõe outro modelo para o sul de Minas Gerais (Figura 5). Em 1978, Almeida definiu o cráton do Paramirim como um segmento crustal de idade arqueana, que se tornou estável no final do Arqueano ou no Proterozóico Inferior. Esse cráton seria circundado por cinturões móveis, estabelecidos ao longo de faixas de rochas granulíticas e charnockíticas arqueanas do cinturão móvel costeiro (Mascarenhas, 1973; Almeida, 1978) cinturão móvel Ceres (Almeida 1981) e pelo cinturão móvel Alfenas (Almeida 1978). O cinturão móvel Alfenas, corresponde a um ramo do cinturão costeiro que se bifurca em 2 outros ramos, próximo a três corações; o que representa uma retomada das idéias de Ebert (1956 a).

O modelo de Fyfe e Leonardos Jr.

Fyfe e Leonardos Jr. (1974) (Figura 6) retomam a

FIGURA 3 - Ocorrência e estruturação do Cinturão Paraíba, segundo Ebert (1956).

- 1- Cratons: São Francisco (I).
 - 2- Macicos: Goiás (III) e Guaxupé (IV).
 - 3- Cinturão de Dobramento Uruaçu.
 - 4- Cinturões de Dobramentos e Regiões do Ciclo Brasileiro: Brasília (V), Sudeste (VII).
 - 5- Coberturas sedimentares correlacionáveis ao Ciclo Brasileiro.
 - 6- Sedimentos Fanerozóicos e Vulcano Sedimentares.
 - 7- Borda do Craton.
 - 8- Feição Estrutural de Pirenópolis.
- Setas indicam vergências.

Fig.4 - ESBOÇO TECTÔNICO DE PARTE DA PLATAFORMA SUL-AMERICANA (Almeida et al., 1976).

LEGENDA

	Proterozóico Antigo
	Complexos Graníticos-gnoissicos do Embasamento Cratônico
	Cinturões Móveis
	Greenstone Belts
	Cobertura do Supergupo Minas
	Foliação das Faixas de Dobramentos Brasilianas marginais do Craton São Francisco
	Granitos Brasilianos
	Proterozóico Médio e Cenozóico
	Coberturas do Craton do São Francisco Dobradas no Ciclo Brasiliano.
	Limites aproximados do Craton do Paramirim
	Limite do Craton do São Francisco
	Falhas: a- Indiferenciada; b- Transcorrente; c- Empurrão

Figura 5' - OS CRATONS DO SÃO FRANCISCO E DO PARAMIRIM E SUAS ESTRUTURAS ENVOLVENTE. (Segundo Almeida, 1981).

idéia de um cráton circundado por faixas móveis visualizando a existência de dois crátons, o do São Francisco e o Paraná, sendo este último recoberto pelos sedimentos da bacia homônima, ambos constituídos por rochas arqueanas.

Esses dois crátons estariam envolvidos por cinturões móveis de baixa pressão, caracterizados pela presença de granulitos. Esses cinturões móveis de alta pressão e com idades superiores a 2,0 b.a., foram denominados de cinturões tipo Atlântico. Sobre estes cinturões, durante o Proterozóico Médio e Superior se desenvolveram novas faixas móveis só que de alta pressão, representadas pelos cinturões Brasília (com fácies eugeossinclinal) e miogeossinclinal, com idades entre 570 - 900 m.a.), Espinhaço (com fácies miogeossinclinal, idades entre 1100 - 1400 m.a. e São Roque (com fácies geossinclinal). As idéias destes autores, foram fundamentais para o estabelecimento do modelo de Almeida (1976), onde o maciço de Guaxupé corresponderia a restos preservados do cinturão Atlântico, enquanto que os cinturões dobrados Uruaçu e Brasília, corresponderiam ao que Fyfe e Leonardos Jr. (1974), definiram como cinturão Espinhaço. Esse modelo, foi novamente retomado por Almeida (1979), ao atribuir as rochas granulíticas do maciço de Guaxupé ao Cinturão granulítico Alfenas, que delimita ao sul o cráton do Paramirim.

Modelo de Braun e Baptista

Braun e Baptista (1978) propuseram um modelo geotectônico, abrangendo uma vasta região e que também contempla nossa área de estudos. Para esses autores, toda a região do Espinhaço, parte de Goiás e da serras da Mantiqueira tiveram no Pré-cambriano, uma evolução tectônica sobre um substrato de características semicratônicas, no estilo aproximado dos Greenstone-belts. As idéias destes autores podem ser visualizadas a partir de blocos diagramas genéricos (Figura 7) e sumarizadas da seguinte forma:

A. Implantação de um sistema de falhas com padrão tetragonal (direções NE-SW e NW-SE) em um substrato rígido, levando à formação de horsts e grabens. Esses rifts, fossas e bacias assim formados foram preenchidos por sequências vulcano-sedimentares e sequências sedimentares químicas detríticas.

FIGURA 6 - Principais feições estruturais e metamórficas da região Leste do Brasil (FYFE e LEONARDOS JR. 1974)

FIGURA 7 - Esquema de evolução tectônica dos cinturões vulcânica (Série Minas) até a Deformação Pós-Bambuí, no Espinhaço Meridional (Braun e Baptista, 1978).

B. Deformações por movimentos tangenciais deformaram tanto as sequências de preenchimento como também o embasamento. Esse processo levou a um encurvamento dos falhamentos originais, causando com isto intensas embricações tectônicas, inversões estratigráficas e geração de milonitos.

C. Sobre as depressões surgidas quase no final do processo, forma-se a bacia do Bambuí. Perturbações tafrogênicas ocorrem nesta fase reativando fraturas e os falhamentos encurvados.

D. Finalmente, esforços pouco intensos deformam a bacia do Bambuí em conjunto com a sequência do embasamento.

Modelo de Davino

Davino (1979) observou a existência de descontinuidades gravimétricas na parte S e SW do cráton do Paramirim. A existência dessa descontinuidade gravimétrica interpretada como descontinuidade litológica já que a sul da área cratônica (perfis A-A' e B-B'; Figura 8), ocorrem rochas da infra-estrutura e de alto grau metamórfico (granulitos e intrusões ultra-básicas à básicas).

Já no interior do cráton ocorrem pacotes de rochas supracrustais, bem como rochas da infra-estrutura de grau médio (migmatitos). A exposição de níveis crustais cada vez mais profundos no Grupo Varginha em direção à descontinuidade (limite cratônico) também é reconhecida por Oliveira (1984). Cabe ressaltar que esta zona de descontinuidade pericratônica de Davino (1979) corresponde na parte sul do cráton do Paramirim, à zona rúptil Cássia Barbacena de Wernick et al (1981). Interpretando o comportamento geofísico gravimétrico desta área, Davino (1979) sugere a possibilidade de que estes limites correspondam a uma zona de colisão ou subducção de placas litosféricas.

Modelos de Wernick e Wernick et al.

Wernick et al (1981) e Wernick e Fiori (1981) também contribuíram com dois modelos geotectônicos para a região S e SW do cráton do São Francisco, informalmente designados pelos autores de "Modelo da Indentação Tectônica" e "Modelo dos cruzamen-

FIGURA 8 - Perfil Gravimétrico e corte esquemático da crosta (Davino, A. 1979).

tos de Cinturões Móveis".

No modelo de indentação tectônica os autores supracitados, postulam que no final do Ciclo Brasileiro, sob ação de esforços compressivos em torno de E-W, desenvolveu-se um processo de tectônica rígida. Esse processo de tectônica rígida por esforços compressivos levou à formação de zonas rúpteis de natureza transcorrente e de empurrão (zona rúptil Carandaí-Mogi Guaçu), provocando ainda um "expressivo encurtamento crustal" na área. Duas destas zonas rúpteis (Carandaí-Mogi Guaçu e Nova Resende-Barbacena) se interceptam a sul de Belo Horizonte, na altura do paralelo 22 S, delimitando um bloco crustal de forma triangular (Maciço de Guaxupé), principal fruto do encurtamento crustal, juntamente com as falhas de empurrão com direção N-S e NNW - SSW. A Fig. 9, ilustra as idéias sumarizadas acima.

No modelo de cruzamento de cinturões móveis, Wernick (1980) e Wernick e Fiori (1981), postulam a existência de uma crosta regional arqueana, onde progressivamente foram se implantando desde o Arqueano até o Brasileiro, cinturões móveis com direção NE-SW, respectivamente Cinturão Móvel Atlântico, Paraíba e Ribeira. Esses Cinturões compreendem uma Faixa Móvel policíclica de direção NE. Além desses ocorrem ainda direção NW-SE os cinturões móveis Araxá e Canastra, ambos constituindo a Faixa Móvel "NW". O cruzamento entre essas duas faixas móveis, delimita o "Maciço Mediano de Guaxupé" que na interpretação dos autores supra citados, seria um fragmento crustal do cráton do Paramirim, individualizado no Arqueano pela implantação das faixas móveis (Figura 10). A Figura 11, ilustra a evolução dessa crosta ensialica, segundo o pensamento dos autores.

Modelo de Soares

Na tentativa de elucidar a implantação, ordenação, estruturação e evolução das diversas entidades geológicas na região centro sul do Brasil, (falhamentos, zonas de cisalhamento dúcteis, blocos crustais, associações litológicas e complexos batolíticos alojados em faixas meta-sedimentares) Soares (1988) propõe um modelo de tectônica colisional. Nesse modelo o autor visualisa um grande bloco continental envolvido em processos colisionais com outros blocos de natureza também continentais ou micro-continentais. Estes processos colisionais levaram a um rea-

Fig. 9 - ESBÔÇO TECTÔNICO SIMPLIFICADO DA BORDA SUL DO CRATON DO SÃO FRANCISCO
(Segundo WERNICK et alii, 1981)

FIG. 10 - Arcabouço Estrutural da Borda Sul do Craton do São Francisco
(Segundo Wernick e Fiori - 1981)

FIG. 11 - Evolução esquemática da crosta ensiânica primitiva arqueana e a formação do protocraton do Paramirim com suas subdivisões pelos Cinturões Móveis Proterozóicos (Segundo Wernick, 1980).

juste inter-blocos provocando assim a formação de um sistema transcorrente compressivo que se inicia por volta de 650 m.a. prosseguindo até o final do Brasiliano. Precedendo a este evento colisional, e mesmo durante a sua atuação, ocorrem nesta região, subsidência litosférica, separação continental, colisão arco-continente, estiramento retro-arco etc, sempre balizados por processos de cavalgamento e cisalhamento.

De acordo com este modelo a associação vulcano-sedimentar de Alpinópolis representa uma área no interior de placas cavalgadas, sobre a qual rochas do Grupo Araxá/Canastra foram empurradas contra o bloco continental São Francisco. A erosão e remoção de parte das litologias da placa cavalgada, expõem os terrenos granulíticos a sul, (próximo a cidade de Nova Resende/MG) e as associações vulcano-sedimentares presentes próximo a região de Passos-Alpinópolis (MG).

3.4. Considerações sobre o posicionamento geotectônico da Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis

Conforme pode ser observado, no sequenciamento sumarizado dos vários modelos geotectônicos propostos para a área, percebe-se que não há diferenças básicas entre eles, mas todos assemelhando-se ao modelo inicial de Ebert (op.cit.). No entretanto a equalização entre eles considerando pormenores geológicos é difícil, na medida em que os diversos pesquisadores modificaram o modelo original em pelo menos três aspectos:

- O que era explicado inicialmente por regime tectônico geossinclinal, passa a ser explicado como regime de tectônica de placas.
- Ampliou-se a área de distribuição geográfica como a criação de novas unidades litológicas para a referida área.
- Envelhecimento das unidades basais (para o pré-cambriano médio, inferior e arqueano) que para Ebert eram de idade pré-cambriano superior.

Interpretando os vários modelos geotectônicos existentes para a região percebe-se que em essência todos eles consideram que a região em questão corresponde a uma área de cavalgamento de ante-pais ou placa cavalgada. É esta situação que permitiu a preservação de associações supracrustais (como é o caso para a Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis) nas unidades geológicas da infra-estrutura.

4. GEOLOGIA LOCAL

4.1. Generalidades

O relevo na área da associação vulcano-sedimentar de Alpinópolis é predominantemente aplainado com alguns morrotes de encostas suaves (Fotografia 1). Praticamente toda a vegetação original foi substituída por pastagens e pequenas lavouras, restando somente umas poucas manchas com vegetação mais densa. Em alguns locais é possível observar restos de mata galeria, nas margens do ribeirão da Conquista.

FOTOGRAFIA 1 - Visão panorâmica da área (porção rebaixada onde ocorre a sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG).

Em locais onde os afloramentos rochosos são praticamente contínuos nos topos das pequenas elevações e nas margens do ribeirão da Conquista, salvo quando ocorrem formações coluvionares/aluvionares. Nas áreas planas e de meia encosta os afloramentos são mais raros, mas suficientes para mapeamentos geológicos mais pormenorizados. De forma geral as rochas em superfície apresentam-se pouco intemperizadas, mas quando alteradas adquirem colorações variadas (amarelada, avermelhada, ocre, etc.) e em seus estágios mais avançados, formam lateritas ferruginosas e solos de coloração vermelho escuro.

As litologias presentes na área em questão, de modo geral estão dispostas na direção NW-SE, concordantes com a es-

truturação regional. Genericamente as litologias aflorantes na área são representadas por rochas do Embasamento cristalino; metaultramáficas/metaultrabásicas, metamáficas/metabásicas e em menores quantidades rochas metassedimentares e intrusivas ácidas. Além dessas afloram ainda localmente, coberturas aluvionares e coluvionares pouco espessas.

4.2. Descrição das unidades litológicas

A porção estudada da sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (anexo 1), é formada por tipos litológicos diversos, que podem ser reunidos em duas unidades litoestratigráficas distintas, que se acham implantadas em um embasamento gnáissico migmatítico.

Unidade migmatítica/gnaissica

Esta unidade representa o conjunto litológico mais antigo na área mapeada. É constituído essencialmente por rochas migmatíticas - gnaissicas de alto grau metamórfico, e tem recebido diferentes designações tais como, Embasamento Cristalino, Complexo Pré-Cambriano indiviso, Complexo Campos Gerais, etc. Conforme pode ser observado no mapa geológico (Anexo 1) esta unidade bordeja as demais nas partes leste, oeste e sul, sendo constituída essencialmente por:

- Anatexitos dos tipos nebulíticos, "schlieren" e dobrado, na forma de pequenos corpos descontínuos e com espessura variando desde poucos centímetros até vários metros.
- Gnaisses embrechíticos caracterizados por um "padrão riscadinho" que se manifesta pela falta de continuidade dos leitos claros e escuros e por seu aspecto cisalhado. Exibem estrutura ocellar, flaser, podendo ser equigranular ou porfiróide.
- Migmatitos estromatíticos de injeção, no qual o neossoma tem composição granítica, granulação grosseira e ocorre na forma de camadas de espessura centimétrica, mais ou menos contínuas, pouco deformadas e cujo paleossoma é representado pelos gnaisses embrechíticos.

- Gnaisses ocelares, caracterizados pela presença de "augen" milimétrico a centrimétrico em matriz gnaissica. Os "augens" milimétricos a centrimétricos ocorrem em matriz gnaissica. E são principalmente de 3 tipos: - olhos monominerálicos e unigranulares constituídos por microclina e/ou oligoclásio.
- olhos monominerálicos e poligranulares constituídos de microclina /oligoclásio.
- olhos poliminerálicos (associações de microclina e/ou oligoclásio com quartzo).

De maneira genérica os leitos com coloração mais escura (paleossoma ou melanossoma) são formados de feldspatos (principalmente oligoclásio), quartzo e minerais máficos. Os leitos de coloração clara que constituem o neossoma ou leucossoma são compostos principalmente por microclínio, predominantemente cinza róseo, quartzo e plagioclásios.

Tanto o leucossoma como também o melanossoma encontram-se dobrados similar e concentricamente, originando complexos padrões de dobramento. Datações geocronológicas pelo método Rb/Sr efetuadas por Wernick et alii, 1981, forneceram uma idade de 2.9 b.a. para o leucossoma destas rochas.

Unidade vulcano-sedimentar

Esta sequência está implantada em rochas do Embasamento Cristalino que a limita a sul, leste e oeste, e é recoberta por rochas do Grupo Araxá a norte. Aglutina a maioria dos tipos litológicos da área e pode ser subdividida em 3 outras suites litológicas; metaultramáfica/metaultrabásica; metamáfica/metabásica; e unidade metassedimentar. Intrudindo esta unidade, ocorrem rochas de composição graníticas, informalmente denominadas como suite intrusiva ácida.

Suite metaultramáfica/metaultrabásica

A suite metaultramáfica/metaultrabásica pode ser reunida em quatro tipos litológicos principais, que incluem, serpentinitos, clorita-actinolita/tremolita xistos, hornblenda xistos e talco xistos (anexo 1). É necessário ressaltar que embora estes litotipos sejam os mais abundantes e passíveis de serem ma-

peados eles podem incluir outras litologias secundárias, à depender de suas composições mineralógicas (ítem 4.3). Assim o tipo caracterizado como "serpentinito" tem como mineral mais abundante a serpentina mas pode conter outros minerais tais como, actinolita/tremolita, clorita e talco em quantidades suficientes para discriminar novas litologias dentro deste tipo (ex. actinolita/tremolita-serpentinito; carbonato-serpentinito; clorita-carbonato-serpentinito, etc). Da mesma maneira sob a designação de clorita-actinolita/tremolita-xisto pode ocorrer variadas litologias em função da presença de outros minerais mais ou menos abundantes, tais como clorita, clinopiroxênio, serpentina, olivinas, etc. No caso específico deste litotipo, foi considerado além do aspecto retromencionado a presença de texturas "spinifex" e pseudomorfos de olivina na definição de diferentes litologias. A textura "spinifex" por ser indicativa de topo de derrames komatiíticos, conforme usado correntemente na literatura, representando portanto um dado diagnóstico na compreensão dessas suítes. A presença de pseudomorfos de olivina é igualmente importante em termos diagnósticos, permitindo marcar a presença de rochas peridotíticas, numa área afetada por metamorfismo intenso. Esses mesmos critérios se aplicam às demais litologias desta suíte e também às outras suítes (metabásica/metamáfica e metassedimentar).

Os serpentinitos desta suíte são rochas de coloração cinza escuro quando frescas, tendendo a colorações esverdeadas amareladas quando alteradas. Apresentam-se com estrutura maciça e xistosa, textura lepidoblástica a nematoblástica e granulação menor que 0,5mm. Foram individualizados cerca de doze corpos desta natureza espalhados na área. Possuem orientação N-NW, formas alongadas, atingindo dimensões máximas de 500m de comprimento por 100m de largura ao sul da área. Na parte norte, nordeste e noroeste da área esses corpos apresentam dimensões bem menores em torno de 200m de comprimento por cerca de 50m de largura.

Como os serpentinitos os talco xistos ocorrem espalhados pela área, totalizando cerca de quatorze corpos. Os maiores corpos mapeados também ocorrem na parte sul da área, alinhados segundo a direção N-NW, com formas alongadas e dimensões máximas de 500m de comprimento por 150m de largura. Macroscopicamente quando frescas possuem coloração cinza esverdeada e amarelada quando alteradas. Possuem textura lepidoblástica, estrutura

xistosa e secundariamente maciça, com granulação fina.

As litologias designadas como clorita-actinolita/tremolita xistos são os tipos mais frequentes na área mapeada. Ostentam uma coloração verde escuro quando frescas, tendendo a amarelada quando alterada. Apresentam-se com estrutura xistosa, textura nematoblástica, e localmente cristais de tremolita podem atingir comprimento centimétrico. Vários desses tipos litológicos estão bem discriminados no mapa geológico (Anexo 1), nas porções sul, sudoeste e noroeste da área. Em outros locais, como a NE (maior exposição); porção mediana do quadrante NW e em partes da porção sul, eles não puderam ser discriminados; podendo-se afirmar que é praticamente impossível separá-los de outras variedades litológicas similares e/ou derivadas dos mesmos por processos metamórficos. Apesar disto estes corpos exibem seguramente a mesma morfologia alongada, e com, direção geral NW, mostrada pelos outros tipos litológicos.

A suíte litológica Hornblenda xisto, foi detectada em furo de sondagem (FO-1), podendo-se observá-la no perfil litológico de profundidade (Anexo 4), não tendo sido portanto mapeada em superfície. Quando fresca apresenta coloração verde azulada, com estrutura ora xistosa, ora maciça, textura nematoblástica predominante, inequigranular, com grânulos minerais atingindo um máximo de 2mm.

Suíte metamáfica/metabásica

A suíte metamáfica/metabásica é composta por dois tipos litológicos principais (anfíbolitos e plagioclásio-hornblenda-tremolita/actinolita-xisto) que como no item anterior, pode dar origem a diversos tipos litológicos secundários a depender das porcentagens dos minerais presentes (biotita, plagioclásio, epidoto, quartzo, clorita, etc).

- Plagioclásio Hornblenda-Tremolita/actinolita xisto, de coloração cinza escuro quando frescos, tendendo a amarelo a avermelhada quando alterado. Apresentam estrutura xistosa e textura nematoblástica. A rocha é inequigranular com granulação variando de 3.0mm a 0.1mm.

Face a semelhança deste tipo litológico com aqueles da unidade metaultramáfica (actinolita/tremolita xisto sem plagioclásio)

torna-se praticamente impossível a sua separação em mapa, até porque os seus afloramentos são contíguos em muitos locais da área.

- O segundo tipo que compõem esta unidade são anfíbolitos diversos, cuja principal área de ocorrência acompanha o leito do ribeirão da Conquista. Possuem formas alongadas segundo a direção regional, tendo sido possível a separação de quatorze corpos. Esses corpos atingem dimensões máximas de até 1 kilometro de comprimento por cerca de 150m de largura na porção sudoeste da área, muito embora pequenos corpos com comprimento inferior a 50m por 20m de largura não sejam raros (Anexo 1).

São rochas que apresentam coloração cinza esverdeado quando frescas tendendo a amarelo quando alteradas. Geralmente apresentam-se com estrutura xistosa e textura variando de nematoblástica (predominante) a granolepidoblástica. Macroscopicamente pode-se observar cristais de plagioclásio e de anfibólio, sendo que frequentemente apresenta-se recortada por veios quartzo-feldspáticos e carbonáticos. São rochas inequigranulares, com granulação variando de 3.0mm a 0.1mm.

Suite metassedimentar

A Suite metassedimentar é composta basicamente por rochas xistosas, portadoras de biotita, quartzo, plagioclásio, tremolita/actinolita, clorita, sillimanita, granada, etc. Esses minerais se combinam à proporções diversas, originando variados tipos litológicos. Apesar dessa diversidade litológica, não foi possível individualizá-los na escala de trabalho adotada, tendo sido portanto reunidos genericamente como metassedimentos e quartzitos. Dessa maneira ressalta-se que são tratados como metassedimentos litotipos diversos (granada-biotita-xisto; tremolita/actinolita-xisto; sillimanita-biotita-xisto com granada e estaurolita; granada-antofilita-xisto; etc) a depender da combinação mineralógica retromencionada. Os metassedimentos ocorrem principalmente na porção noroeste da área, onde formam corpos alongados, atingindo dimensões máximas da ordem de 1 Km de comprimento por cerca de 400m de largura.

Os granada-biotita-xistos são rochas de coloração cinza escuro, estrutura xistosa, textura lepidoblástica a porfiroblástica, inequigranular, com cristais de biotita atingindo um

máximo de 4mm.

Os Tremolita-actinolita-biotita-xistos apresentam coloração cinza escura, e são recortados por veios de quartzo e carbonato. Ostentam uma estrutura xistosa, e granulação variável entre 1 e 2mm.

Os sillimanita-biotita-xistos, com granada e estauroлита, são rochas cinza-escuro, com estrutura xistosa e textura nematoblástica. Em raros afloramentos é possível observar um fraco bandamento neste tipo, sendo que nas partes claras dominam quartzo e feldspato e nas escuras concentra-se biotita, granada, estauroлита e sillimanita.

Os granada-antofilita-xistos, mostram coloração cinza esverdeada, estrutura xistosa e textura lepidoblástica a nematoblástica, sendo recortados por veios de quartzo. A granulometria da rocha é variável entre 1,0mm e 2mm.

Os metassedimentos designados como quartzitos constituem pequenos corpos muito alongados, na forma de cordões concentrados principalmente a noroeste da área, embora ocorram também à nordeste e sudeste. Possuem dimensões variáveis, com comprimento variável desde poucos metros até mais de duas centenas de metros, sendo que sua largura atinge no máximo 50m. Quando frescos, apresentam coloração clara, contendo pequenas quantidades de sulfetos e magnetita, e às vezes aparentam ser monominerálicos. Quando alterados, ambos os tipos apresentam um bandamento mais ou menos intenso, dado pela alternância de camadas claras, essencialmente constituída por quartzo e camadas de coloração marrom amarelada, dada pela alteração de sulfetos e hidróxidos de ferro.

Suite intrusiva ácida

As litologias pertencentes a esta suite são constituídas por rochas de composição essencialmente graníticas. Apresentam-se intensamente deformadas, evidenciando que posteriormente às intrusões à área foi palco de acentuado tectonismo. Os corpos granitóides ocorrem ao longo de zonas de falhas, e face a esse controle tectônico exibem como as demais formas lenticulares, atingindo dimensões máximas de 400m de comprimento por 25m de largura na parte sudoeste da área. Foram individualizados no campo (Anexo 1) nove corpos granitóides, mas os

trabalhos de subsuperfície (trincheiras, poços e sondagens) mostram que infiltrações graníticas de menor porte são muito frequentes na área (conforme pode ser observado nos Anexos 3 e 4).

Esses granitóides são constituídos essencialmente por quartzo, plagioclásio e biotita, localmente podendo adquirir composição quartzo-feldspática. Nos contatos com litologias ultrabásica, desenvolve-se muitas vezes, uma mineralogia exótica representada por cristais centimétricos de turmalinas, quartzo, feldspato, micas e coríndon levando a formação de marunditos.

5. ESTUDOS PETROLÓGICOS

5.1. Caracterização petrográfica da unidade vulcano-sedimentar

O estudo microscópico detalhado do conjunto de minerais, suas texturas, bem como das transformações metamórfica impostas às suites litológicas presentes na área de estudo, permitiram determinar com razoável segurança, pelo menos parte da mineralogia primária, ou seja, as litologias originais no fundo oceânico (pré metamorfismo). Várias das suites descritas anteriormente puderam ser estudadas em pormenor, e subdivididas em vários tipos litológicos distintos. Assim na suite metaultramáfica/metaultrabásica formada por clorita-actinolita/tremolita xistos; serpentinitos, hornblenda xistos e talco xistos, foram extraídas as seguintes observações:

Suite metaultramáfica/metaultrabásica.

- clorita-actinolita/tremolita xistos com pseudomorfos de olivinas.

Observações macroscópicas complementadas por observações microscópicas permitem caracterizar que a xistosidade da rocha é marcada principalmente por cristais prismáticos de tremolita e clorita que se arranjam em uma massa equigranular. Nessa massa ocorrem diferentes minerais que no conjunto adquirem formas ovaladas a arredondadas com dimensões variáveis entre 4.0 a 6.0mm (Fotomicrografia 1).

Os minerais presentes e que formam estas estruturas ovaladas são constituídos essencialmente por concentrações

serpentínicas, sendo que em algumas delas é possível reconhecer núcleos preservados de olivina, caracterizando antigas formas reliquiais das mesmas (Fotomicrografia 2). Normalmente esses pseudomorfos mostram intenso fraturamento, que são preenchidos por opacos e cloritas. Pequenos filetes de talco (submilimétricos) com formas aciculares quase sempre estão presentes nas concentrações serpentínicas, ou então ocorrem próximos aos núcleos da massa serpentínica.

A serpentina principal constituinte dos pseudomorfos tem dimensões submilimétricas (0.1mm) e não raro apresenta orientações perpendiculares das fraturas para o centro dos cristais. Possivelmente essas feições reliquiais eram antigos cumulos de olivina (Fotomicrografia 3).

Na massa equigranular predominam cristais prismáticos de actinolita-tremolita, com bordas corroídas, que não raro podem apresentar-se alterando para talco, serpentina e mais comumente para clorita. As cloritas segundo mineral em abundância, possuem formas prismáticas a aciculares, com dimensões variáveis entre 0.5 a 0.1mm, e conforme já enfatizado parte das cloritas provem da alteração de anfibólio, uma outra parte provavelmente provem da alteração metamórfica das olivinas presentes na massa mineral, enquanto que uma outra deve estar relacionada a fluídos metamórficos (aquela parte presente em fraturas), além da possível presença de cloritas primárias. A principal alteração da clorita é para talco.

Os minerais opacos ocorrem preferencialmente nas fraturas dos pseudomorfos, estando presente também na massa equigranular, com dimensões submilimétricas formando agregados, ou na forma de cristais maiores estirados segundo a xistosidade principal. O predomínio entre os opacos cabe a hematita e magnetita e mais raramente piritas e pirrotitas.

A serpentina possui hábito radial e quando presente na matriz, apresenta relações de substituição nos contatos com o anfibólio. Os minerais de serpentina mostram ainda com certa frequência alteração para talco. A olivina quando preservada é ladeada por serpentina. Apresenta-se com formas grosseiramente arredondadas, com diâmetro variando entre 0.2 e 0.6mm. Carbonatos são muito raros e quando ocorrem (dimensões 0.1 a 0.6mm) estão dispersos de forma aleatória na rocha e secundariamente nas bordas dos pseudomorfos. É possível que originalmente esta massa fi-

na de minerais como um todo, constitui-se na matriz dos pseudomorfos (cumulatos de olivina).

Os vários minerais descritos acima e que caracterizam esta litologia como clorita-actinolita/tremolita-xisto, apresentam-se em média (matriz e pseudomorfos) com as seguintes porcentagens:

- actinolita/tremolita -----	40 - 80%
- serpentina -----	10 - 40%
- clorita -----	0 - 25%
- opacos -----	5 - 10%
- talco -----	0 - 4%
- carbonato -----	0 - 3%
- olivina -----	0 - 3%

Conforme pode ser observado pela composição mineralógica acima, o termo clorita-actinolita/tremolita xisto com pseudomorfos de olivina é genérico, no sentido de que pode reunir outros litotipos a depender das proporções minerais presentes.

Os processo metamórficos (lato sensu) que atuaram nesta litologia, certamente transformaram e obliteraram as paragéneses e feições primárias. Algumas das modificações, descritas neste item, em forma sumária são:

a) Principais alterações metamórficas observadas nos pseudomorfos,

	-----> serpentina-----> talco
Núcleos de olivina	-----> talco
alteram-se nitidamente para	-----> cloritas
	-----> opacos

b) Principais alterações metamórficas observadas nos minerais presentes na massa equigranular (matriz)

Actinolita-tremolita
(40 a 80% da matriz) -----carbonatos

Face ao exposto (composição mineral, relações texturais, transformações mineralógicas, etc.) pode-se concluir com razoável segurança que originalmente tínhamos uma matriz piroxenítica com cumulados basais de olivina. O posicionamento destes tipos litológicos, pode ser observado nos furos de sonda de núme-

ro 8 e 9, respectivamente à profundidades de 64,30m e 40,80m (anexos 5 e 6).

- Clorita actinolita/tremolita-Xisto com clinopiroxênio.

Observações macro e microscópica, mostram que a xistosidade nesses tipos é marcada pela orientação dos cristais prismáticos de actinolita-tremolita e clorita. Secundariamente estes tipos podem não apresentar xistosidade, mas a composição mineralógica é idêntica.

Quando observadas ao microscópio, estas rochas revelam-se constituídas predominantemente por uma massa fina de cristais inequigranulares (actinolita-tremolita, titanita, opacos, carbonato epidoto e clorita) encerrando cristais maiores de (outra natureza) clinopiroxênio. Os minerais da série actinolita-tremolita presentes possuem dimensões variáveis entre 0.1mm (predominante) e 4.0mm, sendo que quando bem desenvolvidos, nota-se claramente sua origem a partir de clinopiroxênios. Titanitas ocorrem como agregados minerais, ou então dispersos na lâmina, com dimensões em torno de 0.2mm. Muito comumente pode-se observar esses minerais de coloração marrom envolvendo minerais opacos. Minerais de clorita com suas formas aciculares, dimensões de 0.1mm a 2.5mm com coloração esverdeada a incolor, é resultante de processos de alteração metamórfica do anfibólio e clinopiroxênio. Os opacos presentes ocorrem principalmente como inclusões na actinolita-tremolita, formas irregulares ou arredondadas quando envolvem minerais de titanita. Epidoto e carbonato são raros, sendo que este último ocorre, geralmente em fraturas. (carbonatização)

Os cristais maiores de clinopiroxênio (reliquias) (0.1mm a 3.0mm) e que resistiram aos processos deformacionais e metamórficos que atuaram na área, possivelmente caracterizam cumulos primários de piroxênio. Esses minerais geram por alteração actinolitas/tremolitas e secundariamente cloritas.

A composição petrográfica média para este conjunto litológico é dada pela seguinte assembléia de minerais:

- actinolita-tremolita	-----	50	- 90%
- clinopiroxênio	-----	10	- 45%
- clorita	-----	0	- 15%
- titanita	-----	0	- 5%
- opacos	-----	0	- 5%

- carbonato ----- 0 - 3%
 - epidoto ----- traços

Ao microscópio nota-se claramente que os processos de alteração que atuaram nestas litologias provocaram as seguintes modificações (sumarizadas):

----- actinolita/tremolita----- clorita
 Clinopiroxênios se ----
 alteram para:
 ----- cloritas

Essas transformações mineralógicas bem como a própria assembléia mineralógica caracterizada permite supor uma rocha inicial com cumulos de piroxênio (piroxênitos).

- Clorita-actinolita/tremolita-Xisto com textura "spinfex".

As observações macro e microscópicas dessas litologias, revelam um emaranhado de cristais aciculares de tremolita e palhetas de cloritas, ambos recristalizados, se entrecruzando e exibindo no conjunto, textura radial formando texturas "spinfex". (Viljoen e Viljoen, 1969). Essas texturas foram estudadas por diversos autores (NALDRETT e GASPARRINI, 1971; PYKE et al, 1973; ARNDT et al, 1977) e são consideradas como indicativas de topos de derrames ultrabásico/ultramáfico de composição peridotítica, onde se formam por resfriamento rápido de olivinas e/ou piroxênios. No caso em questão, embora toda a mineralogia original esteja transformada em actinolita/tremolita e clorita (Fotomicrografia 3 e fotografia 4), localmente pode ser observado pseudomorfos de olivina.

Os minerais da série actinolita-tremolita apresenta-se sendo cloritizada nos planos de clivagem sendo que provavelmente toda a clorita presente na rocha é resultante deste processo. Os opacos ocorrem disseminados pela a rocha, ou então formam bandas contínuas, com espessuras milimétricas paralela à xistosidade da rocha e são constituídos essencialmente por magnetitas.

* A composição petrográfica média desta litologia é dada pelos seguintes minerais abaixo:

- actinolita-tremolita ----- 65 - 77%

Fotomicrografia 1-F09-40,80 - Conjunto de minerais (serpentina, talco, clorita) que se arranjam segundo formas ovaladas (localmente podendo estar fraturados) imerso numa matriz composta essencialmente por actinolita/tremolita e clorita. A pigmentação que escurece as formas ovóides correspondem a hidróxidos de ferro.

Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 2-RC-13 - Núcleos mais preservados de olivina, sendo substituídos por serpentina das bordas para o centro (processo de serpentinização). Ocupando as fraturas entre os pseudomorfos de olivinas ou ainda na própria olivina ocorrem minerais opacos essencialmente constituído por magnetita. Secundariamente tem-se a presença de clorita e talco.

Nicóis paralelos.

Fotomicrografia 3-F08-64,30 - Detalhe de pseudomorfos de olivina mais ou menos talcificados nos seus núcleos. Observar a substituição que ocorre perpendicularmente a partir de fraturas por cristais aciculares de serpentina e secundariamente de talco (processos de serpentinização e talcificação).

Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 4-F08-48,20 - Textura "Spinifex", dada por cristais prismáticos de tremolita e clorita, que mostram um aspecto de pluma e no conjunto exibem uma estrutura radial. Minerais com cloração clara e amarela aspecto plumoso, correspondem a tremolitas/actinolitas, enquanto que os que se apresentam com colorações esverdeadas são predominantemente cloritas.

Nicóis cruzados.

FOTOMICROGRAFIA 01 $\overline{620 \mu}$ FOTOMICROGRAFIA 02 $\overline{62 \mu}$ FOTOMICROGRAFIA 03 $\overline{62 \mu}$ FOTOMICROGRAFIA 04 $\overline{250 \mu}$

- clorita ----- 15 - 28%
- opacos ----- 3 - 10%

tendo como assembléia mineralógica:

Actinolita/tremolita + clorita + opacos

Neste tipo litológico não restou nada da mineralogia original, mas acredita-se que a rocha original era um peridotito, rico em olivinas se alterando esquematicamente da seguinte maneira:

----- actinolita-tremolita ----- clorita
 olivinas e
 ----- clorita

Esse tipo litológico é frequente nos furos de sondagem 8 e 9 (anexo 5 e 6), onde é possível visualizar uma sucessão de derrames ultramáficos, marcados pela presença de texturas spinifex nos seus respectivos topos.

- Serpentinitos

Este tipo litológico pode ser subdividido em dois subtipos, ou seja, clorita-actinolita-tremolita-serpentinito e carbonato serpentinito, os quais em função de suas assembléias mineralógicas atuais, podem refletir com razoável segurança as prováveis rochas originais distintas.

Os clorita-actinolita-tremolita-serpentinito são rochas que apresentam uma coloração cinza escuro/azulada, podendo apresentar algumas porções esverdeadas, sua cor de alteração é amarelo-pálido. Apresentam-se com estrutura maciça a xistosa e textura lepidoblástica a nematoblástica. A rocha é inequigranular, com granulação em torno de 0.5mm. Macroscopicamente a rocha apresenta-se fraturada, com presença de sulfetos disseminados, podendo ser observado que os opacos, quando com formas alongadas, apresentam-se orientados segundo a xistosidade.

Ao microscópio tem-se uma rocha formada predominantemente por uma massa serpentínica, onde observa-se cristais de actinolita-tremolita, clorita e opacos dispersos.

O anfibólio juntamente com a clorita apresentam-se em pequenas concentrações. Enquanto o anfibólio apresenta altera-

ções tais como cloritização e serpentização, a clorita por sua vez apresenta-se serpentizada (Fotomicrografia 5).

Os opacos ocorrem dispersos por toda a rocha, sendo que, próximo as concentrações de anfibólio e clorita estes mostram-se com formas alongadas, definindo uma orientação preferencial, juntamente com os cristais de anfibólio e clorita, lembrando restos de cristais (fantasmas). O talco presente é resultado predominantemente do processo de talcificação do anfibólio e subordinadamente dos cristais de clorita e serpentina. Cristais de piroxênio (diopsídio) associados com serpentina são mais raros.

As fraturas presentes na rocha, são predominantemente preenchidas por serpentina e ou opacos.

Esta litologia caracterizada como clorita actinolita/tremolita serpentinito ou clorita serpentinito apresenta em média a seguinte composição:

- serpentina	30	- 90%
- actinolita-tremolita	0	- 40%
- clorita	0	- 18%
- opacos	5	- 15%
- talco	0	- 1%
- clinopiroxênio	0	- 1%

As principais alterações metamórficas observadas nos minerais presentes são:

---> serpentina

olivinas-(?)-> Actinolita-tremolita--- --> clorita---> serpentina

---> talco

Não foi possível identificar com certeza a rocha original, mas provavelmente trata-se de uma rocha ultramáfica de composição peridotítica, onde os minerais de tremolita tiveram origem a partir do metamorfismo de olivinas. No entretanto a não observação de pseudomorfos de olivinas, permite a possibilidade dos mesmos se originarem a partir de piroxênios.

- Carbonato-Serpentinito

São rochas de coloração cinza azulada, com estrutura maciça a xistosa e textura lepidoblástica, inequigranular, com granulação máxima em torno de 0.4mm.

Através de análise microscópica tem-se que a rocha é constituída essencialmente por uma massa serpentínica, onde ocorrem dispersos cristais de clorita, carbonato e opacos (Fotomicrografia 6). Nota-se que a clorita, carbonato e opacos ocorrem intimamente associados. Os opacos apresentam-se também dispersos na rocha na forma de agregados, formando filmes e filetes que definem uma orientação preferencial. O carbonato presente apresenta-se também com formas de agregados, na massa serpentínica.

Os vários minerais descritos acima e que caracterizam esta litologia como carbonato serpentinito, apresentam-se em média as seguintes porcentagens:

- serpentina	70 - 85%
- opacos	8 - 15%
- carbonato	0 - 12%
- clorita	1 - 6%
- talco	raro

A associação mineralógica que define estas litologias ou seja:

serpentina + carbonato + clorita + opacos podem apontar para duas possibilidades de origem. A primeira possibilidade genética seria que a rocha original fosse um piroxênito e na segunda a rocha original seria um peridotito ou dunito.

- Hornblenda xisto

Ao microscópio a rocha apresenta a seguinte composição média.

- hornblenda	50 - 90%
- clinopiroxênio	0 - 40%
- ferroactinolita	0 - 15%
- titanita	0 - 6%
- carbonato	0 - 5%
- opacos	0 - 5%
- epidoto	0 - 3%
- apatita	0 - 1%
- quartzo	0 - 1%
- rutilo	raro

Predominam cristais prismáticos de hornblenda que estão orientados preferencialmente e marcando a referida xistossidade das rochas. Geralmente tem-se a presença de clinopiroxênio

Fotomicrografia 5-F10-99,80 - Cristais de Actinolita/Tremolita (de cores claras a levemente amareladas), sendo totalmente cloritizados e serpentinizados (serpentinização e cloritização), a orientação exibida por esses cristais correspondem àquela da foliação principal.

Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 6-F10-57,70 - Observar a presença de cloritas (cores esverdeadas) carbonato (cores claras) e opacos associados e preservados na massa serpentínica (cores azuladas). Com cuidado pode se perceber que as cloritas apresentam-se deformadas, originando estruturas em kink bands.

Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 7-F01-45,40b - Massa monominerálica constituída por minerais de clinopiroxênio (augita) de cor amarelo mais escuro, com fraturamento cerrado sendo substituídos por anfibólio (actinolita/tremolita) de coloração amarelo mais clara e clivagem mais nítida.

Nicóis paralelos.

Fotomicrografia 8-F01-52 - Zoneamento mineralógico dado pela assembléia mineralógica Hornblenda (verde mais escuro); Ferro-actinolita (cores claras) Piroxênio mineral de coloração clara, em processo de alteração. Observa-se ainda a presença de opacos parcialmente envolvidos por titanita (mineral claro com relevo mais alto).

Nicóis paralelos.

FOTOMICROGRAFIA 05 | 62 μ |

FOTOMICROGRAFIA 06 | 250 μ |

FOTOMICROGRAFIA 07 | 62 μ |

FOTOMICROGRAFIA 08 | 250 μ |

sofrendo o processo de uralitização, sendo que os cristais apresentam-se intensamente quebrados, sendo difícil a sua identificação. O clinopiroxênio (augita) apresenta-se alterando na maioria das vezes para hornblenda e mais raramente para actinolita-tremolita (Fotomicrografia 7). Minerais de ferroactinolita quando presentes se alteram também para hornblenda (Fotomicrografia 8).

Minerais de titanita mostram-se comumente envolvendo os opacos, que por sua vez são envolvidos por rutilo e estes por titanitas. Estas relações mostram que muito provavelmente a titanita é resultado da alteração de rutilo. A maior parte do carbonato presente na rocha apresenta-se na forma de veios, e secundariamente de maneira dispersa na rocha. Ocorrem ainda nestas rochas, pequenas quantidades de quartzo, apatita e epidoto.

Este tipo litológico é caracterizado pelas seguintes assembléias mineralógicas:

- clinopiroxênio + hornblenda
- clinopiroxênio + ferroactinolita + hornblenda
- Opacos + titanita + rutilo

De acordo com o que foi observado acima, as principais alterações observadas podem ser sumarizadas como segue:

-----> ferroactinolita -----> hornblenda

Clinopiroxênio -----> Actinolita/Tremolita

-----> hornblenda

Rutilo -----> titanita

O que permite caracterizar que as associações mineralógicas descritas devem ter se originado a partir de rochas de composição piroxênítica.

- Talco xisto

Ao microscópio estas litologias apresentam uma xistosidade marcada por cristais prismáticos e aciculares de talco, clorita e subordinadamente actinolita-tremolita (Fotomicrografia 9). Os opacos apresentam-se dispersos na rocha, que em média apresenta a seguinte composição:

- talco ----- 82%
- clorita ----- 8%

- opacos ----- 6%
- actinolita-tremolita ----- 4%

Este tipo litológico (com mais de 80% de talco) não é abundante na área estudada, sendo que a sua principal exposição está no furo de sondagem 01 (Anexo 4). A origem deste litotipo possivelmente está ligada a alteração de rochas primárias de composição peridotítica/piroxenítica. O processo de alteração pode ter-se dado nos moldes das reações descritas anteriormente para a unidade metaultramáfica/metaultrabásica. Esta possibilidade torna-se mais consistente quando se observa a presença destes corpos se formando-se às expensas de corpos serpentínicos, conforme mostra a figura (27).

- Suite metamáfica/metabásica

Esta suite é constituída predominantemente por anfibolitos e plagioclásio actinolita/tremolita xistos embora tipos litológicos secundários possam também ocorrer, a depender da combinação mineralógica apresentada abaixo.

- Plagioclásio-hornblenda-actinolita/tremolita-xisto

Observações macro e microscópicas revelam que a xistosidade da rocha é marcada predominantemente por cristais prismáticos de anfibólio, podendo ocorrer opacos com formas alongadas, que acompanham essa orientação preferencial. Os opacos ocorrem comumente nos interstícios dos cristais de hornblenda e plagioclásio. O feldspato presente encontra-se intensamente sericitizado e saussuritizado, tendo como resultado uma massa de epidoto, sericita e carbonato. A composição do plagioclásio situa-se na faixa oligoclásio/albita. O anfibólio varia de hornblenda a actinolita/tremolita, sendo que estes apresentam-se comumente biotitizados. A biotita mostra-se às vezes cloritizada nas bordas dos cristais.

Em quantidade menores tem-se a titanita, que possui hábito granular e esta dispersa caoticamente na rocha. Espinelos estão sempre presentes, e associados aos opacos. É comum nessas rochas a presença de veios de quartzo e epidoto.

A composição petrográfica média para este conjunto litológico é dada pela seguinte associação mineralógica:

- anfibólio -----	30 - 65%
- biotita -----	0 - 40%
- plagioclásio -----	8 - 15%
- epidoto,sericita e carbonato --	3 - 18%
- titanita -----	0 - 8%
- quartzo -----	1 - 12%
- opacos -----	2 - 15%
- clorita -----	0 - 2%
- espinélio -----	0 - 1%

De maneira sumária as principais alterações metamórficas presentes nesta litologia são:

Hornblenda ----> Actinolita ----> Biotita ----> Clorita
Plagioclásio ----> sericita, carbonato, epidoto.

A definição da rocha original da presente assembléia mineralógica, aponta para prováveis rochas de composições basálticas andesíticas ou mesmo tufáceas.

- Anfibolito

Microscópicamente essa litologias é composta principalmente por cristais de hornblenda e ou actinolita/tremolita, com formas predominantemente prismáticas que definem a xistosidade da rocha, podendo apresentar variadas inclusões de opacos e carbonato em seu interior. A hornblenda apresenta-se comumente sendo substituída por actinolita/tremolita nas bordas. A biotita quando se faz presente é resultado da alteração do anfibólio, ocupando preferencialmente as bordas dos mesmos.

Os plagioclásios possuem formas e contatos predominantemente irregulares, apresentando-se sericitizados e saussuritizados. Dominantemente ocorrem preenchendo os interstícios da malha de anfibólio, e o tipo predominante é o oligoclásio. O processo de sericitização e saussuritização confere aos plagioclásios um aspecto "sujo" devido o desenvolvimento de grande quantidade de epidoto, sericita e clorita que se desenvolvem sobre os mesmos. O Epidoto a Sericita e Clorita são submilimétricos, enquanto que o epidoto se apresenta na forma de agregados e em fraturas. A Sericita e a clorita possuem formas predominantemente aciculares. O quartzo ocorre junto com o plagioclásio, preenchendo os interstícios da malha de anfibólio, apresentando formas e

contatos irregulares. Opacos e titanita apresentam-se dispersos caoticamente na lâmina, sendo que a titanita envolve os opacos. Os cristais de anfibólio possuem tamanho variando de 0.1mm a 3.1mm, enquanto que os cristais de quartzo e plagioclásio possuem tamanho em torno de 0.1mm a 0.8mm.

Os vários minerais descritos acima, que caracterizam esta litologia apresentam uma composição petrográfica média em torno de:

- Hornblenda -----	48 - 65%
- Plagioclásio -----	25 - 40%
- Augita -----	0 - 21%
- Epidoto -----	3 - 10%
- Sericita -----	2 - 6%
- Clorita -----	0 - 6%
- Carbonato -----	0 - 4%
- Titanita -----	0 - 3%
- Opacos -----	traços - 3%
- Biotita -----	traços

Sumarizando temos que uma assembléia mineralógica principal é constituída por hornblenda-actinolita + plagioclásio + titanita + (epidoto, sericita, clorita e carbonato), e uma outra assembléia secundária representada por augita + hornblenda-actinolita + plagioclásio + titanita + (epidoto, sericita, clorita e carbonato).

A associação epidoto, sericita, clorita e carbonato é uma massa resultante de processos de sericitização e saussuritização do plagioclásio.

De maneira resumida as principais alterações metamórficas possíveis de serem observadas nas assembléias descritas são:

	-----> actinolita/tremolita
Hornblenda ----->	
	-----> biotita (raramente)
	-----> epidoto
	-----> clorita
Plagioclásio -----	
	-----> carbonato
	-----> sericita

Face as assembléias mineralógicas presentes nestes tipos e juntamente com as alterações metamórficas observadas, permitem a hipótese de que a rocha original teria uma composição basáltica.

- Albita anfibolito

Microscópicamente é composto essencialmente por minerais predominantemente prismáticos de ferro-tschermakita e biotita, que possuem uma orientação preferencial, marcando a xistosidade da rocha. Cristais de plagioclásio (albita/oligoclásio) apresentam-se levemente sericitizados; ocorrendo ainda nos contatos plagioclásio-plagioclásio a presença de clorita (Fotomicrografia 10).

A biotita presente frequentemente ostenta processos de cloritização preferencialmente nas bordas, enquanto que os opacos ocorrem na forma de inclusões tanto no anfibólio como na clorita.

A composição petrográfica média destes tipos litológicos é a seguinte:

- Ferrotschermakita-----	38 - 51%
- Plagioclásio -----	28 - 30%
- Biotita -----	7 - 14%
- Quartzo -----	5 - 10%
- Clorita -----	2 - 5%
- Opacos -----	3 - 4%

Nestas litologias a associação mineralógica é essencialmente sódica e constituída principalmente por:

Ferrotschermakita + Biotita + Plagioclásio + Quartzo.

O fato do anfibólio apresentar-se mais sódico, pode evidenciar uma entrada de alcális no sistema. Caso isto tenha ocorrido é provável que a rocha inicial tivesse composição basáltica.

- Suite metassedimentar

As observações macro e microscópicas nesta suite

permitiram a sua subdivisão nos seguintes tipos litológicos:

- Clinozoisita actinolita/tremolita fels

As litologias reunidas sob essa designação apresentam uma mineralogia constituída de cristais de quartzo com formas irregulares e contatos lobulados; por actinolitas com formas prismáticas, e sem orientação preferencial, sempre associada com clinozoisita (Fotomicrografia 11), e titanita com hábito granular que ocorre caoticamente dispersa pela rocha.

A principal transformação mineralógica observada neste tipo é dada pela alteração frequente de clinozoisita para actinolita/tremolita. Os opacos ocorrem intersticialmente associados à clinozoisita e actinolita.

Em resumo, a assembléia mineralógica que caracteriza estas litologias é representada por actinolita/tremolita, clinozoisita, quartzo e opacos. Com esta composição mineralógica a rocha original torna-se de difícil identificação, podendo tratar-se tanto de uma rocha calciosilicática, como de uma marga ou ainda o que é menos provável uma rocha ultramáfica com entrada de SiO_2 no sistema (silicificação).

Granada-biotita-xisto

As litologias reunidas como granada, biotita-xistos, apresentam xistosidade marcada pela orientação preferencial de cristais prismáticos de biotita, clorita e por cristais com formas alongadas de quartzo e plagioclásio. A granada ocorre como porfiroblastos, fraturados com preenchimento de opacos e biotita. Na maioria das vezes, contém ainda inclusões de quartzo, plagioclásio e opacos sendo que frequentemente os cristais de granada estão envolvidos por biotita e clorita.

O plagioclásio exhibe formas irregulares a alongadas e com composição de oligoclásio/albita; e geralmente apresenta-se sericitizado e saussuritizado, originando uma massa mineralica composta por sericita, epidoto e clorita.

Os opacos presentes mostram formas alongadas e são concordantes com a xistosidade da rocha. A maior parte das cloritas presentes é originada por processos de cloritização da biotita e uma pequena parte é resultante da saussuritização do pla-

gioclásio (Fotomicrografia 12).

De modo sumário, nestes tipos litológicos pode se distinguir uma assembléia mineralógica principal caracterizada por:

granada + biotita + clorita + opacos + plagioclásio + quartzo + (sericita, epidoto, clorita) + biotita

Os vários minerais descritos acima e que caracterizam esta litologia apresentam em média as seguintes porcentagens:

- biotita	-----	2	- 40%
- granada	-----	3	- 35%
- plagioclásio	-----	6	- 45%
- quartzo	-----	2	- 20%
- opacos	-----	2	- 20%
- clorita	-----	2	- 19%
- sericita	-----	0	- 4%
- epidoto	-----	0	- 2%
- apatita	-----		traços

As principais alterações metamórficas visíveis nestes tipos litológicos são:

biotita	----->	clorita
	----->	sericita
plagioclásio	----->	epidoto
	----->	clorita

Face aos minerais essenciais que caracterizam estas litologias, é sugestiva uma origem a partir de sedimentos pelíticos.

Actinolita/tremolita biotita xisto

Sob esta denominação foram reunidas litologias que ao microscópio relevam-se constituída por quartzo e plagioclásio em cristais com formas alongadas e contatos irregulares, anfíbolios e biotitas, que são responsáveis pela xistosidade principal da rocha. A biotita apresenta-se cloritizada e com regularidade

Fotomicrografia 9-F01-20,5m - Xistosidade bem pronunciada em talco xisto, formada pela associação mineral actinolita/tremolita, formas prismáticas que se alteram para talco (tons fortes de rosa, azul e amarelo localmente superior a 80%) e clorita caracterizando processos de cloritização e talcificação.

Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 10-F01-70m - Mostrando a associação mineral ferrotschermakita (coloração verde escuro), biotita cor marrom, plagioclásio e quartzo em anfibolito.

Nicóis paralelos.

Fotomicrografia 11-F06-49,8 - Mostrando a assembléia mineral constituída por clinozoisita (coloração azulada) actinolita/tremolita (cristais tabulares de coloração amarelada e arroxeadas) e titanita com hábito granular e opacos.

Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 12-F01-81,30 - Formação de cloritas a partir de biotita em Granada Biotita Xisto. A massa mineralica, que se apresenta com coloração esbranquiçada e constituída essencialmente por plagioclásios, enquanto que as cloritas se apresentam com habitus placóides, de colorações creme esverdeadas.

Nicóis paralelos.

FOTOMICROGRAFIA 09 $250\ \mu$ FOTOMICROGRAFIA 10 $250\ \mu$ FOTOMICROGRAFIA 11 $62\ \mu$ FOTOMICROGRAFIA 12 $62\ \mu$

os opacos concentram-se preferencialmente junto a ela.

O plagioclásio (albita) mostra-se sericitizado e saussuritizado. O produto final destes processos é uma massa composta por sericita, carbonato, epidoto e clorita. O anfibólio comumente altera-se para biotita. Em algumas destas rochas tem-se a presença de espinélios que via de regra estão envolvidos por minerais opacos.

A composição modal média para essa litologia é dada pela seguinte assembléia de minerais:

- biotita	2	- 38%
- plagioclásio	8	- 38%
- tremolita-actinolita	2	- 32%
- quartzo	5	- 28%
- clorita	0	- 22%
- opacos	4	- 15%
- sericita	0	- 2%
- epidoto	0	- 2%
- espinélio	0	- 2%
- apatita		traços

As principais transformações mineralógicas que podem ser observadas da microscopia de luz transmitida nestas litologias são:

-----> sericita
-----> carbonato

Plagioclásio

-----> epidoto
-----> clorita

Anfibólio -----> Biotita -----> Clorita

Apesar destas rochas estarem metamorfozadas e não apresentarem estruturas primárias que possam ser consideradas diagnósticas de sua origem, a presença de minerais cálcicos e o contexto litológico geral da área permitem inferir uma origem tufacea ou andesítica/basáltica para as mesmas.

Sillimanita-biotita-xisto com granada e estaurolita

Essas litologias, quando observadas ao microscópio exibem um bandamento dado pela alternância de leitos claros e escuros, constituídos por quartzo e feldspato, nos leitos claros e granada, estaurolita, biotita e sillimanita nos leitos escuros.

O quartzo e o plagioclásio apresentam-se predominantemente com formas irregulares e contatos lobulados, ambos com inclusões de sillimanita fibrosa.

Os cristais de granada possuem formas arredondadas, fraturados e sempre associados a uma massa de sillimanita fibrosa e sericita. A biotita está presente por toda a rocha, apresentando formas placóides que marcam a xistosidade da rocha. A sillimanita apresenta-se com hábito fibroso e formas aciculares, mostrando-se alterada para sericita. Localmente os minerais de sillimanita se concentram em maiores quantidades e formam uma massa mineralógica, que contornam cristais de estaurolita, granada, etc., como se fossem cordões. A estaurolita presente se associa principalmente à biotita e a granada.

Os minerais opacos presentes tem formas irregulares e estão fracamente disseminados por toda a rocha, mas não chegam a formar concentrações maiores e/ou contínuas.

A composição média da rocha é:

- quartzo	39%
- plagioclásio	35%
- biotita	10%
- sillimanita	8%
- estaurolita	4%
- sericita	3%
- granada	1%
- apatita	traços
- opacos	traços

Sumarizando, podemos observar a presença de uma assembléia mineralógica que caracteriza esta litologia, representada por:

Estaurolita + biotita + sillimanita + granada + sericita + quartzo (Fotomicrografias 13 e 14).

A composição mineralógica ostentada por estas li-

tologias permitem inferir que as mesmas devem ter tido uma origem ligada a processos de metamorfismo que atuaram sobre sedimentos pelíticos aluminosos.

Granada antofilita xisto

Estas rochas quando observadas ao microscópio, tem uma mineralogia caracterizada por granada com formas arredondadas envoltas por cristais fibrosos de antofilita e clorita, além de veios de quartzo descontínuos e sulfetos disseminados.

A xistosidade da mesma é marcada por minerais prismáticos e aciculares de antofilita e clorita, onde a antofilita comumente apresenta-se substituída por biotita (Fotomicrografia 15).

A granada presente ocorre como cristais fraturados, com inclusões de quartzo, opacos e biotita. Essas inclusões algumas vezes estão orientadas e outras vezes não, definindo assim uma textura poiquiloblástica para a granada, sendo que alguns cristais apresentam-se rotacionados. Os minerais opacos, em sua maioria, estão disseminados na rocha ou então preenchendo fraturas nos antibólios e granadas. Não raro exibem formas alongadas orientando-se paralelamente a xistosidade principal da rocha.

Dominantemente a mineralogia destas rochas é representada por:

- 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%

Em resumo este litotipo é caracterizado pela seguinte associação mineralógica:

Antofilita + biotita + clorita + plagioclásio + granada + microclínio + quartzo + espinélio + opacos

Através destas composições e associações mineralógicas observadas é possível inferir que estas rochas se originaram a partir de metamorfismo de sedimentos margosos ou tufáceos.

De modo sumário o quadro abaixo mostra as principais transformações minerais observadas na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis.

	-----> serpentina	-----> talco
Olivina ----->	-----> talco	
	-----> clorita	
		-----> serpentina
	-----> clorita	----> talco
Actinolita-tremolita ----	-----> serpentina	----> talco
	-----> talco	
	-----> actinolita-tremolita	-----> clorita
	-----> clorita	
Clinopiroxênio----->		
	-----> ferroactinolita	-----> hornblenda
	-----> hornblenda	-----> actinolita-tremolita
	-----> biotita	-----> clorita
	-----> carbonato	
	-----> sericita	
Plagioclásio ----->		
	-----> epidoto	
	-----> clorita	
	Antofilita ----->	biotita
	Sillimanita ----->	sericita
	Clinozoisita ----->	actinolita

Quadro 1 - Principais transformações nos minerais presentes na Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG).

Fotomicrografia 13-F04-38,70 - Associação mineral de estauro-lita (minerais de coloração castanho e relevo mais alto em relação aos outros minerais, sillimanita (minerais com cores creme e habitus acicular) biotita e quartzo. Localmente se observa minerais de sillimanita sofrendo processos de sericitização.

Nicóis paralelos.

Fotomicrografia 14-F04-38,70 - Associação mineral formada por sillimanita, sericita e granada (minerais com formas arredondadas) feldspato e quartzo. O conjunto apresenta-se deformado e com bandamento condicionado pela alternância de leitos de sillimanita, quartzo e feldspato.

Nicóis paralelos.

Fotomicrografia 15-F03-35,90 - Cristais prismáticos de antofilita com forte orientação segundo a foliação principal da rocha. Localmente a antofilita está sendo substituídos por biotita. Ainda localmente pode se observar a presença de titanitas com formas granulares.

Nicóis paralelos.

Fotomicrografia 16-F10-77,88 - Cristal de plagioclásio sendo sericitizado, com geminação polissintética, "Kink Bands" e recristalização nas bordas. Cristais de quartzo com extinção ondulante (recuperação), também são visíveis.

Nicóis cruzados.

FOTOMICROGRAFIA 13 | 62 μ | FOTOMICROGRAFIA 14 | 250 μ | FOTOMICROGRAFIA 15 | 62 μ | FOTOMICROGRAFIA 16 | 250 μ |

5.2. Química Mineral

Neste ítem efetuar-se-á uma análise geral das características químicas dos principais minerais que constituem as diversas suítes de rochas identificadas e que compõem a Sequência Vulcano-sedimentar de Alpinópolis. Os dados analíticos obtidos para os principais minerais, estão impressos na forma de tabelas, que apresentam a porcentagem em peso dos óxidos e a distribuição catiônica para cálculo das fórmulas estruturais dos minerais. Esses dados foram obtidos a partir de amostras em furos de sondagens criteriosamente escolhidos após estudos de campo e laboratório, sempre objetivando analisar um mesmo mineral nas siferentes suítes de rochas. Assim procurou-se caracterizar os anfibólios (por exemplo) nos diferentes litotipos pertencentes às suítes metaultramáfica, metaultrabásica e metassedimentar. As análises químicas que compõem o anexo 14, enumeradas de 1 a 360, para efeito de simplificação, correspondem à dosagens realizadas nas lâminas relacionadas abaixo:

- Lâmina F01-70,00 - Albita-anfibolito-análises de número 338 e 341 em anfibólio; 347 e 349 em biotita e 337, 339, 340, 343, 344, 345 e 346 em Feldspatos.

- Lâmina F01-50,00 - Hornblenda-actinolita/tremolita-xisto-análises de número 306, 307, 308, 309, 310, 311, 315, 316, 325 e 327 em anfibólios e análises 313 e 317 em titanitas.

- Lâmina F01-163,50 - Serpentinito - análises de número 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70 e 73 em anfibólios; análises 63, 74, 75, 76, 77, 78, 79 e 80 em serpentina e análises 71 e 72 em piroxênio.

- Lâmina F01-205,00 - granada biotita xisto - análises 81, 82, 83, 84, 85, 88, 89, 97, 98, 102, 103 em plagioclásios; análises 86, 90, 95, 99 e 105 em cloritas; análises 87, 94, 96 e 104 em biotitas e análises 91, 92, 93, 100 e 101 em granadas.

- Lâmina F01-142,0 - granada-actinolita/tremolita-biotita xisto - análises 29, 30, 45, 36, 48, 51, 53, 62, 57 em anfibólios; análises 31, 32, 38, 43, 47, 49, 55 e 61 em plagioclásio; análises 34, 35, 37, 41, 44, 50, 52, 56 e 60 em biotitas; análises 39 e 40 em clorita; análises 42 e 46 em granada e análise 54 em carbonato.

- Lâmina F03-35,90 - granada-antofilita-xisto - análises 107, 108, 117, 119, 120, 122 e 125, 356, 359 e 360 em anfibólios;

análises 115, 116, 121 e 123 em plagioclásio; análises 106, 109 e 118 em biotitas e análise 110, 111, 112 e 113 em granada.

- Lâmina F03-43B - clinozoisita-actinolita/tremolita fels - análises 126, 127, 132, 133, 134 e 139 em anfibólio; análise 137 em titanita; análise 136 em carbonato e análises 128, 129, 130, 131, 135, 138 e 141 em epidoto.

- Lâmina F04-38,70 - sillimanita-biotita-xisto com granada e estauroлита; análises 154, 156 e 158 em granadas; análises 144, 152, 153, 155, 157 e 166 em biotitas; análises 150, 151, 159 e 160 em sillimanitas; análises 143, 146, 147, 161, 163 e 164 em plagioclásio; análise 165 em estauroлита e análise 145 em rutilo.

- Lâmina F05-35,95 - Hornblenda-actinolita/tremolita-xisto; análises 350, 351 e 352 em anfibólio; análises 353 e 354 em piroxênios.

- Lâmina F07-37,00 - Hornblenda xisto - análises 174, 176, 177, 182, 183, 184 e 185 em anfibólio; análise 181 em carbonato; análise 186 em epidoto; análise 180 em titanita; análise 172, 175, 178 e 179 em piroxênios; análises 168, 173, 188, 189, 190, 191 e 192 em plagioclásio e análise 167, 187 e 193 em sericita.

- Lâmina F08-57,90 - clorita-actinolita/tremolita serpentinito - análises 198, 202, 212 e 214 em anfibólitos; análises 194, 195, 199, 201, 204, 206, 208, 209, 213 e 215 em serpentinas e análises 196, 197, 200, 203, 207, 210, 211 e 216 em cloritas.

- Lâmina F08-64,30 - clorita-actinolita/tremolita xisto com pseudomorfos de olivinas - análises 217, 218, 221, 224 e 237 em anfibólitos; análises 219, 220, 222, 223 e 238 em cloritas; análises 227, 228, 230, 231, 233, 234 e 235 em serpentina e análises 225, 226, 229, 232 e 236 em olivinas.

- Lâmina F09-76,50 - clorita-actinolita/tremolita xisto com textura spinifex - análises 239, 240, 241, 242, 246, 247, 248, 250, 251 e 252 em anfibólitos; análises 243, 245 e 249 em cloritas.

- Lâmina F10-34,40 - clorita-actinolita/tremolita-serpentinito - análises 255, 256, 259, 267, 273, 279, 281 e 283 em anfibólitos; análises 254, 258, 260, 261, 265, 266, 268, 269, 274, 277, 278, 282 e 285 em serpentinas; análises 253, 257, 262, 263, 264 e 275 em cloritas e análises 270, 271 e 272 em piroxênio.

- Lâmina F10-97,70 - anfibolito - análises 379 e 380 em anfibólitos; análises 361, 362, 369, 370, 371, 373, 374 e 375 em plagioclásio; análises 372, 376 e 381 em clorita e análise 377 em

piroxênio.

- Lâmina F11-55,40 - Hornblenda xisto - análises 329, 331, 332, 333 e 336 em anfibólios e análises 328, 334 e 335 em epidoto.

- Lâmina F11-146,60 - anfibolito - análises 286, 287, 290, 291, 292, 298 e 302 em anfibólios; análises 295, 297 e 303 em titanita; análises 288 e 300 em epidoto, análises 289, 299, 301 e 304 em plagioclásios e análise 293 em carbonato.

- Lâmina RC-13 - clorita-actinolita/tremolita-xisto com pseudomorfos de olivina - análises 1, 2, 4, 12, 13 e 25 em olivinas; análises 3, 5, 14, 15, 18 e 28 em serpentina; análises 6, 7, 8, 9, 10, 11, 19, 20, 23 e 24 em anfibólios e análises 16, 17, 21, 22, 26 e 27 em cloritas.

O objetivo desse estudo é o de caracterizar quimicamente os principais minerais silicatados da Sequência Vulcano-Sedimentar com finalidades descritivas, comparativas, classificatórias e também de reforçar as interpretações genéticas aventadas previamente.

É necessário ressaltar que apesar do metamorfismo que atuou na área, o grande volume de dados obtidos nesse estudo permite estabelecer considerações sobre a mobilidade dos elementos durante o metamorfismo; o fracionamento dos magmas envolvidos para formar as diversas suites litológicas; geotermometria e geobarometria das associações mineralógicas. Embora estes estudos sejam passíveis de serem realizados, não fazem parte dos objetivos do presente trabalho e serão considerados posteriormente.

ANFIBÓLIOS

Os anfibólios são minerais onipresentes nas suites metaultramáfica, metabásica e metassedimentar que compõem a Sequência Vulcano-sedimentar de Alpinópolis. Face aos processos metamórficos que atuaram na área é possível que as associações mineralógicas analisadas a seguir, representem reequilíbrios mineralógicos que ocorreram após o estágio ígneo, o que é confirmado em parte pelos estudos microscópicos. Sob esta óptica é que os anfibólios serão analisados e classificados.

A nomenclatura aqui empregada, bem como a distribuição catiônica dos elementos para cálculo da fórmula estrutural dos anfibólios são baseados em LEAKE (1978). Esse autor classifica os anfibólios de maneira geral em 4 grupos maiores a depender do nú-

mero de átomos de $(Ca+Na)_B$ e $(Na)_B$ em posições octaédricas onde:

- 1 - $(Ca+Na)_B < 1,34$ = Grupo dos anfibólios mangano - ferro - magnesiano.
- 2 - $(Ca+Na)_B > 1,34$; $(Na)_B < 0,67$ = grupo dos anfibólios cálcicos.
- 3 - $(Ca+Na)_B > 1,34$; $(Na)_B > 0,67$ = grupos dos anfibólios sódico-cálcicos.
- 4 - $(Na)_B > 1,34$ = grupo dos anfibólios alcalinos.

O anexo 14; tabela 1, contém os dados relativos às composições químicas de anfibólios, obtidos através de análise de microsonda eletrônica, as suas fórmulas estruturais e a relação $(Ca+Na)_B$ e $(Na)_B$ para cada mineral, de acordo com as proposições de Leake (1978).

Na suite metaultrabásica/metaultramáfica os anfibólios presentes nos serpentinitos possivelmente derivados de dunitos e piroxenitos primários (análises 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 73, 198, 202, 205, 212 e 214, do anexo 14; tabela 1) apresentam variações máximas e mínimas para seus elementos mais abundantes (porcentagem em peso dos óxidos) da seguinte ordem.

SiO_2 variando entre 44,85% a 58,12%

MgO variando entre 22,07% a 28,30%

CaO variando entre 10,57% a 20,19%

FeO variando entre 1,5% a 3,10%

Os clorita-tremolita-xistos com pseudomorfos de olivinas, que representam possíveis piroxenitos cumuláticos (análises 6 a 11 e 19, 20, 23, 24, 26, 27, 217, 218, 221, 224, 237, 255, 256, 259, 267, 273, 279, 281 e 283 do anexo 14, tabela 1) apresentam para os mesmos elementos os seguintes teores:

SiO_2 variável entre 35,78% a 59,21%

MgO variável entre 18,49% a 27,42%

CaO variável entre 0,592% a 12,91%

FeO variável entre 1,83% a 13,67%

Os clorita tremolita xisto com textura spinifex, remanescentes de peridotitos primários (análises 239 a 242; 246 a 248; 251 e 252, anexo 14; tabela 1) apresentam os seguintes conjuntos de valores:

SiO_2 variável entre 50,27% a 56,03%

MgO variável entre 18,89% a 20,23%

CaO variável entre 9,27% a 11,49%

FeO variável entre 7,63% a 10,44%

Nos hornblenda-xistos, possíveis piroxenitos originais (análises 174, 176, 177 e 182 a 185, 329, 331, 332, 333, 336; anexo 14; tabela 1) o espectro composicional dos anfibólios varia entre:

SiO_2 = 49,58% a 55,45%

MgO = 13,93% a 18,47%

CaO = 11,64% a 12,63%

FeO_t = 7,70% a 12,50%

A distribuição composicional dos anfibólios em termos de Fe-Mg-Ca na suíte acima descrita pode ser visualizada no diagrama da figura 12, onde caracterizam um campo bem definido no lado rico em magnésio. Além disso pode-se observar neste campo, domínios composicionais distintos dos anfibólios para as três litologias discutidas, com um ligeiro enriquecimento em ferro para os clorita tremolita-xistos em relação aos serpentinitos.

Na suíte metabásica os anfibólios presentes em plagioclásios-actinolita-tremolita-hornblenda-xistos portadores ou não de piroxênios que representam possíveis rochas originais basálticas (análises 306 a 312; 315, 316, 325, 327 e 350 a 352, anexo 14; tabela 1), apresentam os seguintes conjuntos de teores (porcentagem em peso dos óxidos:

SiO_2 variável entre 41,76% a 54,56%

MgO variável entre 7,91% a 18,36%

CaO variável entre 11,38% a 17,66%

FeO_t variável entre 6,87% a 21,51%

Os anfibólios analisados em anfibolitos típicos e representantes de basaltos primários (análises 286, 287, 290 a 292, 298, 302, 338, 341, 379 e 380, anexo 14; tabela 1) mostram as seguintes variações composicionais.

SiO_2 variável entre 40,51% a 55,35%

MgO variável entre 2,495% a 17,40%

CaO variável entre 11,46% a 12,66%

FeO_t variável entre 8,70% a 30,86%

A figura 12 mostra a distribuição composicional dos anfibólios em relação ao conteúdo de Ca-Mg-Fe presentes nas diferentes litologias que compõem a suíte Vulcano-Sedimentar. Pode se observar que na suíte metabásica, eles apresentam teores de cálcio pouco variáveis (máximo de 6%) caracterizando uma tendência paralela à linha ferro-magnésio do diagrama, sendo que os anfibolitos e actinolita-tremolita-hornblenda-xisto, são as litologias que

apresentam maiores teores de ferro em seus anfibólios.

Na suite metassedimentar foram dosados anfibólios em granada-antofilita-xisto; anfibólio-biotita-xisto e clinozoisita-actinolita-fels. Nas granada-antofilita-xisto originados a partir de metamorfismo de sedimentos margosos e/ou tufáceos (análises 107, 108, 117, 119, 120, 122, 356, 159 e 360; anexo 14; tabela 1) foram dosados os seguintes teores (porcentagem em peso dos óxidos).

SiO₂ variando entre 45,13% a 49,42%

MgO variando entre 9,63% a 15,80%

CaO variando entre 0,26% a 4,38%

FeO_t variando entre 14,86% a 22,70%

Nos anfibólio-biotita-xisto portadores ou não de granada, biotita e clorita, possíveis representantes primários de litologias tufáceas (análises 29, 30, 36, 45, 48, 51, 53, 62 anexo 14; tabela 1) os anfibólios apresentaram os seguintes teores:

SiO₂ variando entre 52,20% a 54,59%

MgO variando entre 16,72% a 17,41%

CaO variando entre 0,73% a 2,88%

FeO_t variando entre 21,13% a 23,80%

Nos anfibólios dos litotipos caracterizados como clinozoisita-actinolita fels possivelmente originada a partir de margas e/ou rochas cálcio-silicáticas (análises 125, 126, 127, 132, 133, 134 e 139; anexo 14; tabela 1) foram observados os seguintes teores:

SiO₂ variável entre 45,59% a 55,72%

MgO variável entre 9,45% a 14,53%

CaO variável entre 0,493% a 23,57%

FeO_t variável entre 11,01% a 21,31%

Na figura 12 é mostrada a distribuição composicional dos anfibólios em termos de Ca-Mg-Fe presentes nestas litologias, permitindo observar que de maneira geral esses anfibólios são ricos em ferro e pobres em Mg quando comparado com aqueles presentes nas litologias das suites metamáfica e metaultramáficas. Além disso eles mostram forte variação em cálcio, caracterizando uma tendência perpendicular à linha ferro-magnésio.

As análises químicas efetuadas mostram que os anfibólios presentes nas rochas em estudo são predominantemente cálcicos, secundados por anfibólios magnesianos permitindo a utilização da classificação de Leake (1978), conforme mostrado nas figuras 13A e

13B. Da análise destas figuras desprende-se que:

- Os anfibólios presentes na suite metaultrabásica e ou metaultramáfica correspondem a tremolitas e hornblenda tremolíticas em serpentinitos; actinolitas, tremolitas e secundariamente hornblenda actinolítica em clorita-tremolita-xisto com textura spinifex; actinolitas, tremolitas, hornblendas tremolíticas, hornblenda actinolíticas, antofilitas e gedritas magnesianas em clorita tremolita xisto com pseudomorfos de olivinas. Via de regra os anfibólios que constituem as texturas "spinifex" correspondem a actinolitas e tremolitas.

- Na suite metabásica os anfibólios são essencialmente cálcicos e correspondem a actinolita, ferro-hornblenda e magnésio-hornblenda nas litologias caracterizadas como hornblenda-actinolita-xisto; magnésio-hornblenda, actinolita e hornblenda tschermakita em anfibolitos e ferro-tschermakita em albita anfibolito.

- Nos metassedimentos os anfibólios são representados por antofilitas (nos antofilita-biotita-xisto); gedritas, ferro-actinolita e hornblenda tschermakita em gedrita/actinolita xisto e actinolita em clinozoisita-actinolita-fels.

Serpentinas

As serpentinas constituem minerais comuns nos tipos litológicos designados como serpentinitos e clorita-actinolita/tremolita-xistos com pseudomorfos de olivina (primariamente peridotitos e piroxenitos). Os resultados analíticos bem como suas fórmulas estruturais podem ser observadas no anexol4; tabela 2.

Nos serpentinitos os teores de SiO_2 na serpentina varia de 43,04% a 47,19%; teores de MgO de 31,77% a 38,13%; FeO de 32,22% a 4,48% e Al_2O_3 de 0,14 a 1,96%. Além desses ocorre ainda outros elementos conforme pode ser observado no anexol4; tabela 2 (análises 63,74,75,77,78,79,80,194,195,199,201,204,206,208,209,213,215,254,259,260,261,265,266,268,269,274,277,278,282).

Em clorita tremolita xisto com pseudomorfos de olivinas (análises 3,5,14,15,18,28,227,228,230,231,233,234 e 235) as serpentinas apresentam teores de:

SiO_2 = 37,60 - 44,69

MgO = 32,20 - 38,05

FeO = 3,94 - 9,40

Al_2O_3 = 0,02 - 6,48

SUITE METAULTRABÁSICA /METAULTRAMÁFICA

- + CLORITA-TREMOLITA - XISTO COM PSEUDOMORFOS DE OLIVINA
- o CLORITA-TREMOLITA-XISTO COM TEXTURA SPINIFEX
- ♦ SERPENTINITO

SUITE METABÁSICA

- x ANFIBOLITO
- ▽ ACTINOLITA / HORNBLENDA XISTO
- ▼ HORNBLENDA XISTO
- CLINOPIROXÊNIO - ACTINOLITA - XISTO

SUITE METASSEDIMENTAR

- GRANADA-ANTOFILITO - XISTO
- Δ ANFIBÓLIO - BIOTITA - XISTO
- ▲ CLINOZOIZITA - ACTINOLITA - FELS

FIG. 12 - Distribuição de Ca, Fe e Mg (proporção molecular) em anfibólios presentes em diferentes litologias da sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG)

FIG. 13a - Classificação e nomenclatura de anfibólios ferro-magnesianos; Li 1,00; $(Ca+Na)_B$ 1,34 (segundo Leake, 1978).

FIG. 13b - Classificação e nomenclatura de anfibólios cálcicos $(Ca+Na)_B$ 1,34; Na_B 0,67; $(Na+K)_A$ 0,50; Ti 0,5 (segundo Leake 1978)

De acordo com (Page 1968, in Whittaker e Wicks, 1970) é possível separar diferentes polimorfos de serpentinas utilizando sistemas ternários diversos que tenham nos vértices dos tetraedros MgO ; FeO ; SiO_2 ; Al_2O_3 e Fe_2O_3 . Desta maneira em um diagrama com MgO ; FeO e SiO_2 , demonstra-se que as variedades crisotila e lizardita apresentam valores de MgO e SiO_2 próximos à composição teórica da serpentina, enquanto que a variedade antigorita contém valores mais altos de SiO_2 e mais baixos em MgO do que a serpentina ideal.

A variante dada pelo FeO_t , nestas três espécies mostram que a lizardita admite maiores quantidades deste elemento na sua estrutura, quando comparada com crisotila.

A partir da figura 14 que está em acordo com estas idéias, depreende-se que nos tipos litológicos caracterizados como serpentinitos, as serpentinas são representadas exclusivamente pela variedade lizardita. Já as serpentinas presentes nas cloritas-tremolita-xistos com pseudomorfo de olivina são representadas dominantemente por antigorita e secundariamente por lizarditas.

FELDSPATOS

A presença de feldspatos pode ser observada em vários tipos litológicos tais como anfibólio-biotita xisto; granada-clorita xisto; granada antofilita xisto, estauroлита-sillimanita xisto; metabásicas, anfibolitos e albita-anfibolito. De maneira geral os plagioclásios são os feldspatos dominantes nas diversas litologias conforme dados analíticos de 57 análises (anexo 14; tabela 3).

As análises por microsonda eletrônica de feldspato nos tipos caracterizados como actinolita/tremolita-biotita xistos e que corresponderiam primariamente a tufo ou tufitos (análises nº 31, 32, 38, 43, 47, 49, 55 e 61) apresentam teores de albita variando entre 43,7% a 58,8%; teores de anortita variando entre 42,1% a 55,9% e teores inferiores a 1% para a molécula de ortoclásio, caracterizando os plagioclásios como andesina/labradorita.

Para os tipos litológicos caracterizados como granada-biotita-clorita-xisto portadores de clorita e que originariamente deveriam corresponder a sedimentos pelíticos (análises nº 81,82,83,84,85,88,89,97,98,102 e 103), os teores de albita variam de 70,3% a 82%; e as de anortita variando entre 17,6% a 29,7%. Com

FIG. 14 - Nomenclatura de serpentinas no Sistema SiO_2 - MgO - FeO presentes na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG) (44 análises) (in Whittaker et al, 1970).

relação à molécula de ortoclásio a maioria dos valores são inferiores a 1% mas ocorrem 2 valores anômalos com (1,7% a 3,4%). De um modo geral os plagioclásios deste tipo litológico são mais sódicos do que aqueles que ocorrem nos anfíbolio-biotita-xistos, correspondendo a oligoclásios.

O conjunto litológico designado como granada antofilita xisto que primariamente corresponderiam à sedimentos margosos e/ou tufáceos (análises nº 114, 115, 116, 121, 123 e 357) apresentam teores variáveis de albita entre 42,4% e 56,9%; anortita entre 42,9 e 57,4% e ortoclásio inferior a 0,5% correspondendo a andesina e labradorita.

Os plagioclásios presentes nas litologias identificadas como estauroлита-sillimanita-xisto e que primariamente corresponderiam a sedimentos pelíticos aluminosos (análises nº 143, 146, 147, 161, 163, 164), apresentam teores de albita variando entre 67,6% a 73,1%; de anortita variando entre 26,5% a 32,2% e de ortoclásio inferior a 0,5% correspondendo a oligoclásio/andesina.

Nas litologias caracterizadas como plagioclásio-hornblenda-xisto os teores de albita (análises nº 168, 173, 188, 185, 190, 191, 192), variam de 69,6% a 91,8% com uma análise plotando em 16,5%. Os teores de anortita são variáveis entre 7,6% a 29,2% enquanto que as proporções de ortoclásio apresentam valores diversos com um máximo de 82,4% até 0,6% correspondendo predominantemente a oligoclásio e albita (uma análise) e, subordinadamente, a feldspato potássico.

As análises de feldspatos em anfíbolitos interpretados originariamente como basaltos (289, 299, 301, 304, 361, 362, 369, 370, 371, 373, 374 e 375) apresentam proporções de molécula de albita variando entre 37,5% a 95,1%; de anortita entre 4,5 a 61,2% e ortoclásio nas proporções entre 0,3% a 14,4%. Diferentemente dos outros tipos litológicos os anfíbolitos apresentam-se formado por plagioclásios diversos, desde albita até labradorita.

Nos tipos litológicos caracterizados como albita anfíbolitos os quais primariamente deveriam corresponder a basaltos as proporções de moléculas de anortita variam de 1,9% a 4,1% caracterizando a dominância de albita neste tipo.

Os plagioclásios de maneira geral, demonstram à exemplo das paragêneses minerais, que as condições metamórficas atingiram, grau médio de metamorfismo (Winkler, 1977) ou fácies anfíbolito conforme é atestado pelos teores de albita superiores à 17% tanto

em rochas ortoderivadas como também em rochas metaderivadas (figura 15). A análise desta figura sugere também um enriquecimento generalizado em sódio e localmente potássio em detrimento do cálcio. Esse processo deve ter ocorrido durante o retrometamorfismo, possivelmente acompanhado de hidrotermalismo para gerar plagioclásios mais ácidos, mais ricos na molécula de ortoclásio e até mesmo em feldspato potássico.

CLORITAS

A clorita é um mineral praticamente onipresente na área, ocupando lugar de destaque na formação das diferentes suites de rochas que compõem a associação vulcano-sedimentar de Alpinópolis, e participa da nomenclatura de quase todos tipos litológicos. Desta forma minerais do grupo da clorita foram dosados em rochas de composição peridotítica/piroxenítica (tremolita-xisto com pseudomorfos de olivina, serpentinitos e clorita tremolita-xisto com textura spinifex), em rochas de composição básica (anfibolitos) e em rochas metassedimentares (anfibólio-biotita-granada-clorita xisto; granada-clorita xisto anexo 14; tabela 4).

Em tremolita xisto com pseudomorfo de olivina (análises 16, 17, 21, 22, 219, 220, 222, 223 e 238) as cloritas dosam teores de SiO_2 variáveis entre 28,19% a 31,32%; teores de FeO entre 6,72% a 8,43%, MgO variando entre 27,33 a 30,33 e Al_2O_3 entre 14,90 a 20,21%. Nos serpentinitos as cloritas assume teores de sílica 30,68% a 34,44% teores de FeO entre 4,15% a 5,43%; teores de MgO entre 31,67% a 35,40% e teores de Al_2O_3 entre 11,22 e 16,05% (anexo 14, tabela 4).

Na variedade litológica clorita-actinolita/tremolita-xisto com textura spinifex (análises 243, 245, 249) as cloritas apresentam teores de sílica entre 28,28% a 29,21%; teores de ferro total entre 12,58% e 13,16%; teores de Al_2O_3 entre 17,54% e 18,35% e MgO variando entre 24,67% a 30,20%.

Nos anfibolitos as cloritas dosadas apresentam teores de sílica variáveis entre 28,80% a 38,47%, teores de ferro total entre 11,54% a 18,69%; teores de alumínio entre 20,55% e 20,76% e teores de MgO variáveis entre 12,21 a 18,38%.

Já nos metassedimentos (anfibólio-biotita-granada-clorita-xisto e granada-clorita xisto) as cloritas exibem valores de SiO_2 variando entre 24,55% a 28,05%; FeO_t variando entre 18,64% a

FIG. 15 - Variação composicional de plagioclásios presentes em diferentes tipos litológicos, na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis. (57 análises)

21,92%; Al_2O_3 variável entre 18,20% a 22,88% e teores de MgO entre 15,60% a 19% (análises 39, 40, 86, 90, 95, 99 e 105).

Pela observação da figura 16 e do quimismo apresentando por esses minerais em estudo nota-se claramente a presença de cloritas mais ricas em magnésio e com menores teores de FeO e alumínio nos tipos ultramáficos quando comparado com os mesmos elementos nos tipos metassedimentares e também com anfibolitos. A figura 16 utilizada para nomenclatura da clorita, mostra as diferentes variedades presentes nas três suítes de rochas acima descritas.

MICAS

A presença de micas ocorre frequentemente nos tipos litológicos caracterizados como metassedimentos (actinolita/tremolita-biotita-granada xisto; granada-clorita xisto, granada-antofilita xisto, estauroлита-sillimanita xisto) em albita anfibolito e também em rochas ácidas que penetram a sequência. O anexo 14; tabela 5, expressa as análises de minerais micáceos por microsonda eletrônica para estas litologias.

Nos anfibólio-biotita-xisto as micas apresentam teores de sílica entre 33,28% a 54,39%, teores de K_2O variáveis entre 4,64% a 9,13% (estando ausente somente na análise 52). Os teores de FeO alcançam valores entre 7,39% a 23,43%; MgO entre 8,10% e 16,81% valores de Al_2O_3 entre 1,44% a 18,58%. Além desses ocorrem em quantidades subordinadas Cr_2O_3 (0,06% a 0,94%); Na_2O (0,0% a 6,20%); CaO variando desde ppm a 0,91% além de outros, conforme observado nas análises (34, 35, 37, 41, 44, 50, 52, 56 e 60).

As composições químicas das micas observadas nos granada clorita-xisto podem ser visualizadas no anexo 14; tabela 5 (análises 87, 84, 96, 104) onde se observa que a variação dos elementos mais abundantes são:

- SiO_2 variando entre 36,68% a 52,96%
- K_2O variando entre 4,56% a 9,28%
- FeO_t variando entre 6,99% a 18,53%
- Al_2O_3 variando entre 17,53% a 21,96%
- MgO variando entre 3,99% a 17,88%

Em granada antofilita xisto (análises 106, 109 e 118) as micas apresentam as seguintes composições extremas para os elementos mais abundantes

SiO_2 = 35,91 a 36,48

FIG. 16 - Nomenclatura das cloritas presentes nos diversos litotipos da sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG) (36 análises).

K_2O	=	7,26 a 8,56
FeO_t	=	13,78 a 14,99
Al_2O_3	=	17,65 a 17,82
MgO	=	14,73 a 15,26

Nos xistos portadores de estaurolita e sillimanita (análises 144, 152, 153, 155, 157 e 161) as micas apresentam as seguintes composições químicas (porcentagem e peso) para os elementos mais abundantes:

SiO_2	=	31,33% - 40,44%
K_2O	=	0,53% - 8,27%
FeO_t	=	12,28% - 15,44%
Al_2O_3	=	15,40% - 20,59%
MgO	=	10,81% - 15,89%

Já as composições químicas das micas observadas nos albita anfibolitos (análises 347 e 349), são discrepantes em relação a dos outros tipos litológicos, mostrando um maior enriquecimento, em ferro acompanhado de um empobrecimento em magnésio, exibindo os seguintes valores para seus principais constituintes: (2 análises)

SiO_2	=	24% e 30%
K_2O	=	0% e 4,18%
FeO_t	=	33,97% e 36,63%
Al_2O_3	=	16,23% e 19,65%
MgO	=	6,27% e 6,37%

As micas observadas em regiões de contato entre rochas ácidas e rochas básicas/ultrabásicas, também apresentam composições químicas distintas, com enriquecimento em Al_2O_3 e CaO e empobrecimento em MgO e FeO_t

SiO_2	=	32,07 e 32,48%
K_2O	=	0,13 e 0,06%
FeO_t	=	0,13 e 0,46%
Al_2O_3	=	47,15 e 50,78%
MgO	=	0,04 e 0,23%
CaO	=	11,03 e 11,51%

De acordo com a figura (17) em Deer et alli (1977), as micas analisadas apresentam composições no campo da flogopita que em conjunção com suas fórmulas estruturais permitem classificá-las como biotitas, sericitas e margaritas.

FIG. 17 - Composição química de micas em diferentes tipos litológicos na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG) (Deer et alli 1977).

OLIVINAS

Apesar dos processos deformaçionais e metamórficos que atuaram na área, a presença de olivina predominantemente na forma de núcleos reliquiais ou mesmo como raros cristais em diferentes litologias puderam ser dosadas através de microsonda eletrônica cujos resultados estão expressos no anexo 14; tabela 6. (Análises 1, 2, 4, 12, 13, 25, 225, 226, 229, 232 e 236). De forma geral, a composição das olivinas (em relação a moléculas de forsterita) está sempre próximo do teórico para a maioria das análises, com pequenas quantidades de outros elementos tais como Mn, Ba, Ca, Al etc., possivelmente ocupando posições estruturais do Mg (1,319 - 1,461) que supera em valor os outros cations reunidos.

A variação composicional das olivinas nessas litologias encontra-se representada no diagrama da figura 18, permitindo avaliar o campo de variação das mesmas em função do número de cations de Fe e Mg.

CLINOPIROXÊNIO

Foram efetuadas quatorze análises de clinopiroxênio por microsonda eletrônica, em litologias diversas tais como em serpentinitos, clorita-tremolita xisto com pseudomorfos de olivinas, piroxenio-actinolita/tremolita-xisto, hornblenda actinolita/tremolita xisto e em anfibolito. Os dados analíticos obtidos encontram-se listados no anexo 14; tabela 7. Constam também nestas tabelas as proporções entre minerais e fórmulas estruturais dos mesmos.

Nos serpentinitos foram realizadas três análises químicas de piroxênio (68, 71 e 72) apresentando para os seus elementos mais abundantes os seguintes teores (porcentagem e peso):

- SiO₂ variável entre 49,23% a 53,90%
- MgO variável entre 18,99% a 28,01%
- CaO variando entre 11,84% a 24,34%
- FeO variável entre 1,067% a 2,25%

Além desses ocorrem ainda em quantidades subordinadas Al₂O₃ (0,23% a 0,43%); Cr₂O₃ (0,046% a 0,16%) além de outros elementos.

Os clinopiroxênios presentes nos tipos designados genericamente como hornblenda xisto (análises 172, 175, 178, 179) apresentam teores variáveis de:

FIG. 18 - Variação composicional de olivinas presentes em clorita tremolita xisto com pseudomorfos de olivinas, na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis. (in Candia, 1983).

SiO ₂	=	54,41% a 55,04%
MgO	=	14,06% a 15,20%
CaO	=	21,81% a 24,27%
FeO	=	6,40% a 6,95%

Observa-se ainda em quantidades inferiores a 1%, outros elementos tais como Al₂O₃ (0,25% a 0,65%); Na₂ (0,19% a 0,20%), além de outros que podem ser observados no anexo 14; tabela 7

Em clorita tremolita xisto com pseudomorfo de olivinas os clinopiroxênios (análises 270, 271 e 272) apresentam as seguintes composições de teores:

SiO ₂	=	57,91 a 59,22%
MgO	=	23,64 a 23,71%
CaO	=	12,17 a 12,88%
FeO	=	1,78 a 2,08%

A presença de outros elementos em quantidades menores, pode ser observado no anexo 14; tabela 7.

Nos hornblenda-actinolita/tremolita-xisto (análises 324, 326, 353 e 354) os clinopiroxênios dosaram os seguintes teores para seus elementos principais:

SiO ₂	=	53,77 a 54,87%
MgO	=	15,20 a 16,27%
CaO	=	21,64 a 25,17%
FeO	=	5,13 a 5,94%

Além desses ocorrem ainda em quantidades menores outros elementos conforme pode ser observado no anexo 14, tabela 7, tais como Al₂O₃ (0,38 a 1,19%).

Nos anfibolitos onde são mais raros, uma análise (377) dosou SiO₂ = 51,44%; Al₂O₃ = 2,75%; FeO = 5,98%; MgO = 16,55%; CaO = 17,68% e Al₂O₃ = 2,75%.

Valores analíticos desses clinopiroxênios plotados no quadrilátero Di (diopsídio) HD (hendenbergita) - FS (ferrosilita) e EN (enstatita) Fig (19), mostram que esses minerais se distribuem nos campos dos endiopsídios, diopsídio/salita e augita, discriminando domínios composicionais distintos para os diferentes tipos litológicos.

GRANADA

Na suite metassedimentar foram realizadas um total de 14 análises químicas de granada em litologias diversas, tais como an-

FIG. 19 - Nomenclatura dos clinopiroxênios no sistema $\text{Ca Mg Si}_2\text{O}_6$ (Di) - $\text{Ca Fe Si}_2\text{O}_6$ (Hd) - $\text{Mg}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ (En) - Fe_2O_6 (Fs), presentes na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG) (13 análises). (in Deer et al, 1977)

fibólio biotita xisto (análises 42 e 46); granada-clorita xisto (análises 91, 92, 93, 100, 101); granada-antofilita-xisto (análises 110, 111, 112, 113); estaurolita sillimanita xisto (análises 154, 156 e 159); anexo 14; tabela 8.

De maneira geral observa-se na suite metassedimentar (exceção aos tipos estaurolita-sillimanita-xisto) o forte predomínio de Almandina (variável entre 35,27 a 73,90%) e secundariamente Piropo (variável entre 10,16% a 20,49%). As moléculas de grossularia são o terceiro tipo em abundância, variáveis entre 9,39% em anfibolito xisto e à 12,43% em granada anfibolito xisto. Nestes tipos a espessartita ocorre subordinadamente em proporções variáveis entre 3,57% a 7,07%. Em granada clorita xisto as proporções de molécula de espessartita (variáveis entre 5,74% a 13,20%) superam as de grossulária (variáveis entre 2,67 a 6,62%).

Nas litologias caracterizadas como estaurolita-sillimanita xisto, também predominam moléculas de almandina (61,04% a 62,23%) só que secundadas pelos de espessartita (18,34% a 19,73%), piropo (13,28% a 14,36%) e subordinadamente, grossularia variável entre 4,38% a 5,83%. Além desses ocorrem ainda em menores proporções uvarovita (até 1,01%) titanogranada (até 0,46%) e andradita (até 0,57%).

EPIDOTOS

Minerais do grupo do epidoto estão presentes em vários tipos litológicos da sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis, tendo sido dosados nos seguintes tipos litológicos:

- clinozoisita-actinolita fels (7 análises 128, 129, 130, 131, 135, 138 e 141).
- hornblenda xisto (1 análise; 186)
- anfibolito (2 análises; 288 e 300)
- hornblenda-xisto (3 análises 328, 334, 335)

As análises químicas e fórmulas estruturais obtidas para estes minerais encontra-se listados no anexo 14; tabela 9.

Nos tipos litológicos como clinozoisita-actinolita fels os principais elementos dosados apresentam os seguintes conjuntos de valores:

SiO_2 - 36,96% - 39,50%

Al_2O_3 - 25,97% - 31,99%

CaO - 21,59% - 24,01%

Fe_2O_3 - 2,60% - 8,10%

Nos hornblenda-xistos, o conjunto de teores dos principais elementos dos epidotos são:

SiO_2 = 38,15% - 39,36%

Al_2O_3 = 27,78% - 29,42%

CaO - 21,25% - 23,22%

Fe_2O_3 - 5,29% - 6,21%

No metabasito foram dosados em cristal de epidoto valores de 38,23% de SiO_2 , 27,15 de Al_2O_3 , 23,05% de CaO e 6,79 de Fe_2O_3 e nos anfibolitos foram revelados valores de:

SiO_2 - 39,14% e 41,05%

Al_2O_3 - 27,99% e 28,46%

CaO - 11,65 e 23,45%

Fe_2O_3 - 6,14% e 7,54%

De acordo com as fórmulas estruturais apresentadas por Deer et al (1977) os epidotos presentes são representados principalmente por clinozoisita e zoisita.

TITANITAS

A presença de titanita pode ser observada nos tipos litológicos caracterizados como clinozoisita-actinolita fels (análise química 137) rocha hornblenda-xisto (análise química 180) anfibolitos (análises 295, 297 e 300) e hornblenda xisto (análises 313 e 317). Os teores dos principais elementos químicos nas titanitas nestas rochas, bem como suas fórmulas estruturais encontram-se listadas no anexo 14, tabela 10.

De maneira geral as titanitas dosadas nos diferentes tipos litológicos, apresentam composições químicas similares, sendo que os seus elementos químicos mais abundantes apresentam as seguintes variações composicionais (7 análises).

SiO_2 - 30,75% a 33,63%

TiO_2 - 28,39% a 36,60%

CaO - 25,77% a 28,42%

Al_2O_3 - 1,28% a 7,71%

FeO - 0,20% a 1,76%.

OUTROS MINERAIS

Além dos principais minerais já descritos merecem aten-

ção outros minerais presentes nas rochas entre os quais destaca-se a presença de carbonatos (Anexo 14, tabela 11), sillimanita e estauroлита (anexo 14; tabela 12).

Os carbonatos apesar do pequeno número de análises (54, 136, 181 e 293; anexo 14 e tabela 11) apresentam variações nas proporções de seus elementos químicos de acordo com o tipo litológico. Assim em anfibólio-biotita xisto (análise 54) tem-se 9,04% de FeO; 0,46% de MnO; 0,51% de MgO e 44,92% de CaO que de acordo com sua fórmula estrutural deve corresponder a calcita.

Em clinozoisita-actinolita-fels, o carbonato presente (análise 136) apresentam valores de FeO em torno 48,72%; 0,61% de MnO; 0,15% de MgO; e 6,69% de CaO o que permite classificá-lo como siderita. A presença de quimismo típico de calcitas pode ser observado nas análises 181 e 293, realizadas respectivamente em hornblenda xisto e anfibolito.

As sillimanitas (análises 150, 151, 159 e 160, bem como suas fórmulas estruturais encontram-se no Anexo 14; tabela 12). São frequentes em metassedimentos (sillimanita xisto) e ocorre sempre associada com granada e estauroлита. A dosagem química realizada nestes minerais mostra que eles são constituídos essencialmente por sílica e alumínio, sendo que outros elementos químicos dosados, apresentam-se com teores inferiores a 0,3%. O teor de SiO₂ é variável entre 36,61% a 37,3%; enquanto que o Al₂O₃ varia entre 55,90 a 62,65%. O anexo 14; tabela 12 mostra essa variação de teores, e também a fórmula estrutural desses minerais.

5.3 Quimismo das rochas

O objetivo desta abordagem é mostrar a evolução petrológica da Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis, enquadrando suas rochas dentro dos grupos magmáticos já conhecidos. Com esse objetivo foram utilizadas 24 análises de rochas (elementos maiores e traços Anexo 13). As análises químicas foram realizadas pela empresa Geosol, segundo o método de absorção atômica e espectrometria de Plasma, conforme descrito no capítulo 2. Para tanto foram selecionadas a partir dos estudos petrográficos, pertencentes à suite metaultramáfica/metaultrabásica, sendo 4 amostras de clorita-tremolita-xisto com pseudomorfos de olivina (F08-48,20; F08-64,30; F08-77,90 e F10-47); 4 amostras de clorita-tremolita-xisto com textura spinifex (F09-32,40; F09-76,50; F09-81,70 e F09-59,40); 4 amostras de clorita-actinolita/tremolita-xisto com clinopiroxênio (F07-35,95; F06-42; F01-154,40 e RC-5B); 2 amostras de clorita-actinolita/tremolita-xisto (RC-510 e F06-24); 5 amostras de serpentinito (F01-163,50; F01-165,50; F01-190; F06-3,75; F08-57,90) e 1 amostra de Hornblenda xisto (F01-56). Da suite metabásica/metamáfica foram dosadas amostras de anfibolito (F01-76 e F11-29,75) e da suite metassedimentar apenas 1 amostra de granada-clorita-xisto (F01-205). Todas estas amostras à exceção daquelas com sigla "RC" (em número de três) foram coletadas em profundidades (furo de sondagens) variáveis entre 20m e 200 metros, estando portanto quase nada alteradas. Foram realizadas ainda para a escolha das amostras a serem dosadas, observações rotineiras tais como, rocha homogênea e representativa, ausência de texturas e estruturas pós litificação da rocha (alteração hidrotermal, fraturamento, cisalhamento, etc).

No entanto cabe lembrar que as rochas analisadas sofreram no mínimo três etapas de deformações distintas, acompanhadas por dois períodos metamórficos principais. Assim existe a possibilidade de que o sistema ora em estudo não tenha se comportado isoquimicamente, o que faz com que as interpretações sejam consideradas com cautela, principalmente quando se utilizam gráficos com Na_2O e K_2O .

Definição das tendências dos grupos de diferenciação

A série de rochas estudadas enquadra-se predominantemente nos domínios correspondentes às lavas arqueanas komatiíticas, que de acordo com Viljoen & Viljoen (1969), Brooks & Hart (1974) e Naldretti et al. (1977), são definidas pelos seguintes parâmetros químicos:

- $MgO > 9\%$
- $SiO_2 > 53\%$
- $K_2O < 0.9\%$
- $TiO_2 < 0.9\%$
- $CaO/Al_2O_3 > 1$
- baixa relação TiO_2 / SiO_2
- baixa relação Fe/Mg , quando comparado com Al_2O_3 .

Assim Naldretti & Turner (1977) estudando a composição química dessas rochas estabelecem com base nos teores de MgO que:

- Lavas basálticas komatiíticas $> 9\%$ de MgO
- Lavas piroxeníticas komatiíticas $12\% - 20\%$ de MgO
- Lavas piroxeníticas/peridotíticas komatiíticas $20\% - 30\%$ de MgO
- Lavas peridotíticas komatiíticas $> 30\%$ de MgO .

Para Arndt & Nisbet (1982) os termos basálticos tem seus teores de MgO variando de:

- $9\% - 18\%$ - lavas basálticas komatiíticas com piroxênio
- $12\% - 18\%$ - lavas basálticas komatiíticas com olivina
- $18\% - 30\%$ - lavas piroxeníticas komatiíticas
- $> 30\%$ - lavas peridotíticas komatiíticas.

Com o objetivo de visualizar as tendências de diferenciação destas rochas, confeccionou-se vários diagramas (figuras 20, 21 e 22) que são rotineiramente utilizados para esta finalidade.

Pode-se observar que nos diagramas de MgO contra diversos óxidos (figura 20) tem-se um trend bem marcado, onde genericamente as porcentagens de MgO decrescem regularmente em direção aos termos mais diferenciados da série, caracterizando a diferenciação face ao fracionamento das olivinas, com o magnésio participando mais eficientemente da cristalização dos piroxênitos e basaltos, com consequente diminuição de olivina

no líquido. Ao mesmo tempo o conteúdo em TiO_2 ; SiO_2 ; CaO ; Al_2O_3 ; CaO/Al_2O_3 , Co são crescentes, mas obedecendo rigorosamente às definições propostas pelos autores retromencionados. Os valores representativos de Ni embora crescentes em direção aos domínios ultrabásicos, apresentam uma certa dispersão. Essa dispersão em parte pode ser explicada pelo fato de que os raros sulfetos presentes nas rochas (pirita, pirrotita, etc.) apresentam valores elevados de Ni. Em alguns desses diagramas pode-se constatar nitidamente os campos dos peridotitos, piroxenitos e basaltos komatiíticos.

Confrontando-se os dados petrográficos, obtidos a partir de lâminas delgadas e amostras de mão, com os diagramas citados acima, observa-se que há uma relação entre os litotipos petrográficos e o posicionamento das amostras analisadas dentro do diagrama. Dessa forma pode-se observar que os serpentinitos (grupo I) são sempre mais ricos em MgO e mais pobres em SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , TiO_2 , do que as litologias restantes; não foi possível contudo visualizar nos diagramas a subdivisão petrográfica feita para os serpentinitos no capítulo 4. Já para as rochas classificadas como clorita - actinolita-tremolita xistos, percebe-se uma subdivisão destas, em três grupos correlacionáveis com as observações petrográficas descritas anteriormente.

- Grupo II - clorita actinolita-tremolita xisto com pseudomorfos de olivina; são os termos menos diferenciados dentro desta litologia, plotando-se dentro do campo piroxênítico/peridotítico-komatiítico (Naldrett & Turner, 1977).

- Grupo III - clorita-actinolita-tremolita xisto com textura spinifex; grupo intermediário, ocorrendo em íntima relação com o grupo II, ficando às vezes difícil essa subdivisão em alguns gráficos. Apresenta-se dentro do campo piroxenítico komatiítico e piroxenítico/peridotítico komatiítico.

- Grupo IV - clorita-actinolita-tremolita-xisto com restos de clinopiroxênio; é o tipo mais diferenciado dentro desta litologia, apresentando-se dentro do campo dos piroxenitos komatiíticos.

Os tipos descritos como hornblenda xisto caem dentro do campo dos basaltos komatiíticos (Naldrett & Turner - 1977). Já as litologias definidas mineralogicamente como anfíbilito e albita anfíbilito não apresentam o mesmo comportamento das outras suítes de rochas descritas acima sendo que aparentemente

ambos os tipos não pertencem à tendência de diferenciação e portanto à suíte, devendo corresponder a corpos intrusivos posteriores à formação do cortejo vulcano-sedimentar.

Um comportamento similar, e bem discriminante pode ser observado nos diagramas binários (fig. 21) onde vários elementos são plotados contra a sílica. De um modo geral os diagramas revelam valores crescentes de sílica em direção aos termos mais diferenciados, com comportamento oposto ao do magnésio. Os grupos litológicos discriminados pelos binários MgO versus óxidos são também muito bem caracterizados pelos diagramas de vários elementos contra sílica. Em resumo, a análise de todos estes diagramas, caracterizam estas litologias como uma sucessão de derrames básicos/ultrabásicos diferenciados e de afinidade komatiítica.

Quando plotamos esses mesmos dados químicos em diagramas triangulares AFM, as rochas da sequência evidenciam uma tendência (trend) de diferenciação, bastante clara, mostrando um trend contínuo de peridotitos komatiíticos para piroxênitos komatiíticos e basaltos komatiíticos (figura 22-A). Esta tendência pode ser confirmada em diagramas triangulares que utilizam outros elementos discriminantes tais como $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO}$ conforme utilizado por Arndt (1977) em Munro (Canadá), para mostrar o decréscimo de MgO, numa razão constante de CaO e Al_2O_3 , sugerindo a importância do fracionamento magmático neste tipo de terreno. Os valores obtidos em Alpinópolis apresentam pouca variação em relação aos de "Munro" (figura 22b).

O quimismo komatiítico das rochas presentes na Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis, presença de textura spinifex, presença de vários derrames superpostos (anexos 5 e 6) e o contexto geológico, onde se insere a mesma, permite supor que a sequência de xistos magnesianos com intercalações metassedimentares aí presentes, originariamente corresponderiam a derrames ultrabásicos de composição peridotítica, piroxênítica e basáltica de filiação komatiítica. Pausas ou interrupções desses vulcanismos, foram acompanhados pela deposição de sedimentos tufáceos, aluminosos ou margosos. No decorrer do tempo geológico, todo o conjunto vulcânico sofreu tectonismo e infiltrações de rochas granitóides. Localmente nos contatos entre granito e as rochas metamáficas, houve a formação de marunditos. A consanguinidade entre as porções ultrabásica e básica são evidenciadas em dife-

rentes gráficos tais como diagramas binários e triangulares (figuras 20, 21 e 22a e 22b).

LEGENDA

- X - SERPENTINITOS
- + - CLORITA ACTONOLITA-TREMOLITA XISTO COM PSEUDOMORFO
- - CLORITA ACTONOLITA-TREMOLITA XISTO COM TEXTURA "QUENCH"
- Δ - CLORITA ACTONOLITA-TREMOLITA XISTO COM RESTO DE CLINOPIROXÊNIO

- ▽ - HORNBLENDA XISTO
- - ANFIBOLITO
- - METASSEDIMENTO

FIG. 20 - Diagrama binário de Harker de variação MgO versus óxidos; MgO versus níquel e MgO contra CaO/Al₂O₃.

FIG. 21 - Diagrama binário de Harker (1909) de variação de sílica versus Óxido e sílica versus Fe/Mg .

FIG.22 A- Diagrama (FeO+Fe₂O₃+TiO₂) - Al₂O₃ - MgO das rochas metaultramáficas e metamáficas da área de Ribeirão da Conquista, Alpinópolis (MG).

FIG. 22 B - Diagrama CaO-Al₂O₃-MgO para rochas metaultramáficas e metamáficas da área de Ribeirão da Conquista, Alpinópolis (MG).

6. EVOLUÇÃO GEOLÓGICA

6.1. Aspectos estruturais

6.1.1. Geologia Estrutural

Os dados estruturais obtidos durante os trabalhos de mapeamento geológico, evidenciam um padrão evolutivo estrutural excepcionalmente complexo para a área em estudo. As idéias sumarizadas abaixo, baseiam-se em Soares e Carvalho (em preparação).

Foliações

No que concerne às foliações presentes na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis, é possível reconhecer:

A foliação mais antiga (S₁) observada somente ao microscópio é caracterizada pela presença de minerais silicatados microcristalinos no interior de massas sulfetadas (fotomicrografia 3i) e secundariamente na matriz silicática. Os silicatos que marcam o plano desta foliação, identificados através de estudos microscópicos e de microsonda eletrônica correspondem a olivinas e clinopiroxênio, se alterando para tremolita e/ou actinolita; augita e/ou diopsídio em alteração para hornblenda e/ou tremolita e mais raramente sillimanita e granada em metassedimentos. Esta foliação, com suas paragêneses correspondem ao segundo evento metamórfico que atuou na área, indicando um limite inferior de temperaturas da ordem de 500°C e pressões superiores a 4 Kilobares (balizada pela almandina, anexo 14, tabela 8). Admite-se ser esse o segundo evento metamórfico, considerando-se ter ocorrido anteriormente um episódio metamórfico do tipo "fundo oceânico" no sentido de (Coombs, 1961, Groves e Barlet, 1987), não causando portanto modificações importantes nem nos litotipos primários, nem nas superfícies originais (S₀), mas apenas transformações mineralógicas e químicas.

O segundo tipo de estrutura planar observada na área (foliação principal) é representado por uma forte foliação de transposição caracterizada pelo par C₂ e S₂, praticamente visíveis em todas as fotografias e fotomicrografias do presente trabalho. Os estudos microscópicos e de microsonda eletrônica revelaram que os minerais que marcam estas foliações são representadas princi-

palmente por clorita, talco, serpentina e biotita e tremolita nas litologias de composição ultrabásica/básica. Nos metassedimentos aluminosos principalmente ela é marcada por epidoto, sericita, clorita, sillimanita apresentando recristalizações e por granada fraturada e rotacionada (fotomicrografia 18). Esta foliação foi gerada durante um terceiro evento metamórfico, que atuou na área. Pelas paragêneses observadas, este metamorfismo teve como limite superior, temperaturas da ordem de 500°C, e pressões máximas em torno de 4 Kilobares (vide 6.2). As mineralizações sulfetadas (fotomicrografias 29, 30 e fotografias 3, 6 e 10), também mostram estas feições de deformação e moagem intensa, que ocorreu na fácies xisto verde (porfiroclastos, rotacionados de pirita, quartzo, tremolita, dentro de bandas formadas por intenso estiramento de piritas, pirrotitas, silicatos, quartzo, etc, muitas vezes gerando verdadeiras brechas tectônicas).

Esta foliação (S_2/C_2) ocorre com direções variáveis entre N40W a N20E no bloco norte; N40W no bloco sul e N30W no bloco nordeste. É esta a foliação responsável pela geometria lenticularizada exibida pelos corpos litológicos conforme ser observado no anexo (1) e figura (27).

Finalmente tem-se ainda uma terceira foliação (S_3) caracterizada ao microscópio pela presença generalizada de fraturamento e de kink-bands em clorita e carbonato (fotomicrografias 14 e 26).

As observações microscópicas não deixam dúvidas de que foi a última foliação formada na área, já que localmente ela ocorre afetando veios tardios (com pouca ou sem deformação) de carbonatos. Nas fraturas geradas durante este evento alojam-se concentrações de sulfetos de zinco (Esfarelita), de cobre (calcopirita) além de piritas e pirrotitas. O metamorfismo atuante nesta fase foi com certeza de baixo grau metamórfico, acompanhado por processos de alteração hidrotermal. As principais feições que atestam este hidrotermalismo é a presença de esfalerita e calcopirita em fraturas (fotomicrografias 25 e 26), quartzo pouco deformado em fraturas de descompressão (fotografias 4 e 9), carbonatos preenchendo fraturas (fotomicrografia 20).

Reformações

As várias foliações presentes, bem como a distribuição

espacial dos corpos litológicos na área, são resultantes da atuação de vários processos deformacionais (rúpteis e dúcteis) através do tempo geológico. Considerando-se que para cada foliação caracterizada (S_1 , C_2/S_2 e S_3) associa-se um evento deformativo, deve ser ressaltado que:

- Não é possível caracterizar a natureza do evento deformativo (D_1) dada a impossibilidade de se recuperar seus elementos geométricos.

- O evento D_2 (dúctil-rúptil) é o responsável pela formação do par C_2 e S_2 por transposição, mas localmente a distribuição espacial dessa foliação não está preservada por ter sido fortemente afetado por D_3 .

- O evento D_3 é o mais importante desses processos, no sentido da distribuição espacial dos corpos litológicos. Ele afeta D_2 e conseqüentemente a foliação C_2 , gerando dobramentos com eixo NS, com dobras progressivamente mais fechadas para Sul, refletindo a proximidade com a zona de cisalhamento de alto ângulo de ribeirão da Conquista. Nos blocos Norte e Nordeste esse evento gerou dobras mais abertas. Esse evento deformativo em eixos de dobras variáveis blocos NNW, NNE e sul é responsável pelas variações nas atitudes da foliação C_2 , na área e também pelo sistema de falhamento ribeirão da Conquista.

- Um último evento D_4 , com eixos para NE, apesar de não mascarar a foliação principal, gera localmente a foliação S_3 , e provoca as ligeiras ondulações e crenulações presentes na área.

Falhas

Em resposta à atuação dos eventos deformativos na área de ribeirão da Conquista, foram gerados falhamentos diversos, que podem ser agrupados hoje em dois conjuntos principais a saber:

O conjunto mais antigo (F_2) corresponde ao falhamento de Ribeirão da Conquista e suas ramificações subparalelas, formando localmente uma zona de cisalhamento com alto ângulo. Esse conjunto foi gerado ao tempo do evento D_3 , que causou a transposição de estruturas na área, apresenta direção geral N50W; 60°, estando portanto em muitos locais, paralelizados com a foliação C_2 .

Associado a estas estruturas (zonas de cisalhamento) e que ocorrem as principais concentrações sulfetadas na área.

Ao segundo conjunto, relacionam-se as falhas (F_3) com

direção Nordeste (N30E, verticais) tratando-se de falhamentos mais jovens que os anteriores e relacionados ao evento deformativo D₄. Este sistema de falha e suas fraturas são as principais vias de acesso para as soluções hidrotermais formadas aparentemente durante o retrometamorfismo e levando à cristalização de esfalerita, calcopirita e carbonato.

6.1.2. Feições Microestruturais

A observação de microestruturas realizadas em testemunhos de furo de sondagem e de amostras de superfície; tais como: sombras de pressão, foliação principal, fraturas, extinção ondulante, "kink bands" (Quadro 2), revelam que processos deformacionais e metamórficos afetaram as rochas originalmente, permitindo assim mais evidências sobre as condições de temperatura em que se formaram as rochas na área. Estas observações são compatíveis com aquelas observadas no estudo das associações minerais.

Recuperação e recristalização dos minerais

A recuperação e a recristalização estão relacionadas com a energia fornecida pela deformação e ou pelo metamorfismo. O processo de recuperação é entendido como uma mudança dos eixos cristalográficos do cristal, sendo que essa reorganização varia em torno de 0° a 5° graus. Na recristalização as diferenças cristalográficas entre o cristal original e os cristais neoformados são bem maiores, sendo que ocorre a formação de grãos bem individualizados.

Essas feições foram observadas em quase todas as lâminas, nos mais variados minerais:

- Recuperação; processo observado nos cristais de quartzo, plagioclásio, biotita, clorita e anfibólio (fotomicrografia 16).
- Recristalização; observado nos cristais de quartzo (predominantemente), plagioclásio, anfibólio e clorita (Fotomicrografia 16 e 17).

De acordo com Hoobs (1981) o gráfico de esforço versus deformação, mostra que tanto maior o esforço maior a energia fornecida para os cristais e maior a quantidade de deslocamentos presentes.

Quando os cristais começam a adquirir um comportamento plástico, o excesso de energia é compensado através da recuperação. Acompanhando a curva, chega-se a condições onde os minerais sofrem tanto recuperação quanto recristalização, é o ponto de cedência (yield point). Após o ponto de cedência, o cristal chega a um ponto onde o excesso de energia é maior que nas condições de recuperação, sendo necessário a formação de novos cristais bem individualizados para que esse excesso de energia seja

dissipado com a concentração dos deslocamentos ao longo de superfície que formarão o contato entre os novos grãos; caso contrário o cristal passa pelo estado de espera (steady state) e caminha para a ruptura (figura 23).

FIG. 23 - Gráfico Esquemático do comportamento dos minerais com o aumento da deformação (In Cox 1987).

Figura 23- Gráfico esquemático do comportamento dos minerais com o aumento da deformação (Hobbs, 1981; in Cox, 1987).

Porfiroblastos e Sombras de Pressão

Sombras de pressão são regiões adjacentes a porfiroblastos, com formas aproximadamente elipsoidais, onde os cristais presentes apresentam orientação, tamanho e forma diferentes da matriz.

Na fotomicrografia 18, pode-se observar porfiroblastos de granada com sombras de pressão composta por quartzo recrystalizado e clorita. Segundo Spry (1976) podemos classificar porfiroblastos quanto a sua idade relativa (figura 24), podendo ser feito através da observação das inclusões no porfiroblasto. Observa-se em lâminas delgadas diversas, porfiroblastos de granada com inclusões de quartzo, biotita e opacos todos eles apresentando-se orientados definindo uma textura poiquiloblástica (Fotomicrografia 18). Os cristais apresentam inclusões que indicam uma rotação não muito pronunciada, sendo que pelo modelo de Spry (op. cit.) caracterizaria um cristal sin-tectônico e pré-tectônico respectivamente.

Deformação	Pós - Cristalina	Sin - Cristalina	Pre - Cristalina
Cristalização	Pré - Cinemática	Sin - Cinemática	Pós - Cinemática
Deformação que resulta em giro relativo do porfiroblasto
Cizalhamento puro perpendicular a xistosidade
Deformação que resulta em crenulação da clivagem ou xistosidade anterior

Figura 24 - Esquema da relação entre as épocas de desenvolvimento de porfiroblastos e as épocas de formação das foliações (segundo Spry-1976, in Girardi, 1979).

"Kink Bands"

São superfícies que delimitam duas partes de um mesmo cristal que tem estruturas cristalinas com orientação diferente devido a deformação.

Nas amostras estudadas essa feição é muito comum nos cristais de clorita, além de ocorrerem nos cristais de carbonato, biotita, quartzo e mais raramente no plagioclásio (Fotomicrografia 19). Os "kink bands" são formados a uma temperatura menor que a temperatura de recristalização do mineral.

Fraturas

Essas feições são também comuns e apresentam-se predominantemente preenchidas por opacos, carbonato, quartzo, clorita e mais raramente epidoto (Fotomicrografia 20).

Não raro temos cristais microfraturados com preenchimento de carbonato. Geralmente essas fraturas aparecem oblíquas a foliação da rocha. Nota-se um intenso fraturamento nos cristais de granada (nos metassedimentos) e clinopiroxênios (nos

Fotomicrografia 17-F01-56 - Exemplo de minerais de anfibólio (hornblenda) sofrendo processos de recristalização. Feição comum observadas nas litologias caracterizadas como Hornblenda Xisto.

Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 18-F03-40,30 - Porfiroblasto de granada (coloração escura) com inclusões de quartzo orientados segundo uma direção preferencial no interior desta e em posição oblíqua a foliação principal da rocha.

Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 19-F06-38,50 - Minerais de biotita sofrendo processo de cloritização. A biotita formada apresenta estruturas em kink bands.

Nicóis cruzados.

Fotomicrografia 20-F03-69,60 - Fratura tardia com preenchimento de carbonato (colorações lilás e esverdeadas) em posição oblíqua a foliação principal da rocha.

Nicóis cruzados.

FOTOMICROGRAFIA 17 62μ

FOTOMICROGRAFIA 18 250μ

FOTOMICROGRAFIA 19 250μ

FOTOMICROGRAFIA 20 250μ

xistos ultramáficos/máficos), indicando um comportamento mais frágil para esses minerais.

Microdobras

As microdobras são geradas a partir do cisalhamento simples com o deslizamento de superfícies umas sobre as outras, principalmente quando são envolvidos leitos ou bandas de composição diferente.

Embora não seja uma feição comum, elas ocorrem preferencialmente em associações de mica e anfibólio e quando isto ocorre pode-se notar um bandamento composicional dobrado, com dobras fechadas a abertas, com flancos rompidos ou não e com foliação plano axial pouco penetrativa, dando a impressão de um desenvolvimento progressivo (Fotomicrografia 21).

Microboudinagem

Esse processo de boudinagem em escala microscópica pode ser observado em várias secções (fotomicrografia 16) em cristais de plagioclásios, sendo que nos "necks" notamos a recristalização de quartzo.

Foliação Principal

Na área ocorrem principalmente rochas xistosas, que possuem foliação bem definida por um microbandamento com bandas ora ricas em quartzo e feldspato, ora ricas em minerais micáceos, ora ricas em anfibólio, etc...

Dentro de cada microbanda, a xistosidade apresenta-se marcada pela orientação preferencial de minerais micáceos (biotita, clorita) e prismáticos (hornblenda, actinolita-tremolita) e mais raramente por quartzo e feldspato com formas alongadas, orientados segundo esta direcção (Fotomicrografia 22).

Geminação Mecânica

Esta feição está presente nos plagioclásios deformados, e ocorrem abaixo da temperatura de recristalização dos minerais. Acredita-se que o principal mecanismo de formação dessas

250 μ

Fotomicrografia 21-F01-128,0 - Mostra um bandamento composicional dobrado, formando dobras fechadas com flancos rompidos em litologias do tipo quartzo-tremolita-biotita xisto. Nicóis cruzados

250 μ

Fotomicrografia 22-F09-24,70 - P. menor da foliação principal marcada por cristais micáceos (clorita) e prismáticos (actinolita-tremolita). Nicóis cruzados

microestruturas seja o cisalhamento ao longo de planos cristalográficos preferenciais durante a deformação.

Breve Discussão das Microestruturas e das Feições Deformacionais

Para área em estudo a maioria das microestruturas, estão relacionadas às fases de deformações descritas no item anterior. Existem ainda algumas feições deformacionais que afeta os minerais presentes em fraturas discordantes ou não, como quartzo, carbonato e clorita; sendo correlacionáveis com a última fase de deformação.

A recrystalização da assembléia mineral é uma feição marcante para a maioria das rochas estudadas. O Quadro 3 fornece as temperaturas de recrystalização para os vários minerais, onde o anfibólio, o quartzo e o plagioclásio e todos que aparecem nas rochas estudadas, indicam que a temperatura durante o processo de deformação a temperatura pode ter atingido temperaturas da ordem de 480 a 520 graus centígrados, o que está em consonância com as observações sobre o metamorfismo da área.

As outras microestruturas presentes possuem temperatura de formação inferior a temperatura de recrystalização dos minerais, isso podendo ser observado na figura 25.

Com base nas microestruturas fica evidenciado um caráter dúctil-rúptil para a deformação, além desta apresentar-se de modo heterogêneo.

Fig. 25 - Esquema mostrando a relação entre a variação dos tipos de microestruturas presentes em cada mineral, a temperatura e deformação sofrida pelos mesmos.

Mineral	Feições Deformacionais
Quartzo	extinção ondulante, recristalização e "kink bands"
Plagioclásio	extinção ondulante, recristalização geminação mecânica, microboudinagem e "kink bands"
Biotita	Fraturamento, microdobras e extinção ondulante
Clorita	"kink bands", microdobras e extinção ondulante
Actinolita-tremolita	Recristalização, fraturamento, extinção ondulante e microdobras
clinopiroxênio	Fraturamento
Granada	Fraturamento
Carbonato	"kink bands"

Quadro 2 - Principais feições deformacionais para os minerais (mais comuns) na Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG).

150 - 200°C Calcita	recristalização durante forte deformação (Voll, 1980)
275°C Quartzo	início da poligonização e migração do limite dos grãos (Voll, 1976,1980)
290°C Quartzo	início da recristalização (Voll, 1976,1980)
300°C Biotita	início da recristalização (Voll, 1976,1980)
300 - 350°C Calcita	recristalização durante deformações normais (Voll,1980)
400 - 450°C Dolomita	início da recristalização (Voll, 1980)
400 - 500°C Olivina	início da recristalização (Voll, 1980)
500°C Olivina	início da recristalização (Ave Lallemant & Carter, 1970)
480°C Feldspato-K	início da recristalização (Altenberger et al., 1988)
500°C Plagioclásio*	limite do Oligoclásio (Voll, 1968)
Feldspato-K	início da recristalização (Voll, 1976,1980)
Plagioclásio	início da recristalização (Voll, 1976,1980)
430 - 500°C Feldspato-K (1-8 Kb)	limite da desordenação da estrutura cristalina com adição de até 15% de moléculas de albita (Voll, 1968)
500°C Anfibólio	início da recristalização (Voll, 1980)
520°C Plagioclásio	início da recristalização (Altenberger et al., 1988)
540 - 580°C Turmalina	auto difusão associada à pressão (Voll, 1968)
600°C Clinopiroxênios	início da recristalização (Voll, 1980)
700°C Ortopiroxênios	início da recristalização (Voll, 1980)
700 - 800°C Quartzo	direção de deslizamento (c) dominante com alta pressão de fluidos (Blumenfeld et al., 1986)

* observado na área em estudo.

Quadro 3 - Temperaturas de recristalização de alguns minerais formadores de rochas

6.2. Aspectos metamórficos

As observações metamórficas no conjunto vulcano-sedimentar foram direcionadas, para identificar as principais assembléias mineralógicas e as possíveis reações metamórficas dos minerais predominantes, e com isso diagnosticar campos de temperatura e pressão reinantes durante a sua formação.

Esta metodologia foi adotada para todas as suites petrográficas descritas no conjunto vulcano-sedimentar.

Com este enfoque foi possível caracterizar duas fácies metamórficas; uma fácies anfibolito e outra fácies xisto verde.

A fácies anfibolito na área em estudo é caracterizada pelas seguintes assembléias minerais:

- 1- Hornblenda + titanita + opacos em anfibolitos da suite metabásica/metaultramáfica
- 2- Antofilita + biotita + quartzo em metassedimentos (granada-Antofilita-xisto) (Fotomicrografia 15)
- 3- Estauroлита + sillimanita + biotita + quartzo + granada + sericita (fotomicrografias 13 e 14) em metassedimentos

Segundo Winkler (1976) a paragênese biotita + estauroлита é característica para indicar o início do metamorfismo de médio grau (fácies anfibolito), sendo que a presença de sillimanita e antofilita indicam um metamorfismo na fácies anfibolito médio (temperaturas superiores a 600°C, e pressões superiores a 4 kilobares)

Para a fácies xisto verde tem-se as seguintes assembléias minerais:

- 4- Actinolita-Tremolita + clorita + serpentina + talco
- 5- Serpentina + talco (Fotomicrografia 3)
- 6- Serpentina + carbonato + clorita (Fotomicrografia 6)

O quadro 4 reproduz sumariamente os vários grupos litológicos presentes na área, suas feições primárias e os minerais que caracterizam as fácies metamórficas.

Quadro 4 - Metamorfismo e feições primárias dos principais litotipos.

Grupos litológicos	Feições primárias	Fácies anfibolito	Fácies Xisto-verde
Clorita Actinolita - Tremolita Xisto	Pseudomorfos de olivina, textura "Quench" e restos clinopiroxênio	*****	cloritização talcificação anfibolitização serpentinização
Serpentinito	*****		serpentinização cloritização talcificação
Hornblenda Xisto	restos de clinopiroxênio	hornblenda + titanita + opacos	*****
Talco Xisto	*****	*****	cloritização talcificação
Plagioclásio Ac/ Tremolita Xisto	*****	*****	biotitização cloritização
Clinozoisita Actinolita Fels	*****	*****	clinozoisita + actinolita + quartzo
Sillimanita Biotita Xisto com granada e estaurolita	bandamento composicional (primário ou metamórfico?)	sillimanita + biotita + estaurolita + quartzo	*****
Antofilita Xisto	*****	antofilita + biotita + quartzo	Biotitização

7 - O ESTUDO DOS CORPOS SULFETADOS

7.1. Características Gerais

A presença de fortes anomalias geoquímicas em amostras de solo para níquel, cobre e zinco, superpostas com anomalias geofísicas na sequência litológica vulcano-sedimentar da área em estudo levaram à execução de seis furos de sondagens na porção noroeste da área constatando-se a presença em profundidade de diversos corpos sulfetados, conforme pode ser observado nos anexos 4, 7, 8, 9 e 11. As concentrações de sulfetos ocorrem praticamente ao longo de todos os furos, sendo consideradas nesse estudo, apenas aquelas que atingem uma representatividade mínima de 10% de sulfetos (em peso) e espessuras mínimas de 50cm. Esses corpos se originam a partir de concentrações locais com dimensões milimétricas a centimétricas, que podem por coalescência atingirem dimensões métricas.

No furo de sonda 01 (Anexo 4) ocorrem pelo menos seis níveis sulfetados com espessura média de um metro. O nível sulfetado mais superficial é praticamente aflorante, mas face à alteração superficial intensa só é reconhecível a 5m de profundidade e o mais profundo se localiza a uma profundidade superior a 194m. Igualmente para o furo de sondagem 02 (anexo 7), o primeiro corpo sulfetado é quase aflorante (três metros de profundidade) enquanto que o nível mais profundo encontra-se a 57m de profundidade e praticamente coincide com o término do furo. Apesar de ser menos profundo do que seu antecessor esse furo apresenta também seis níveis sulfetados com espessura média de 1 metro, com exceção para o corpo sulfetado localizado entre a profundidade 37m a 39m que é mais espesso. Já o furo de sonda 03 (Anexo 8) com 77m de profundidade, apresenta dois níveis sulfetados mais espessos à profundidades de 37 e 54 metros, respectivamente com 6 e 4 metros de espessura. O furo 04 (Anexo 9) com 50 metros de profundidade, apresenta dois níveis sulfetados à profundidades de 36 e 49m, respectivamente com espessuras de seis metros e um metro. No furo 05 (Anexo 10) com 70 metros de profundidade, ocorre apenas um nível sulfetado, com dois metros de espessura a uma profundidade de 67 metros. O furo 06 (Anexo 11) com 55m de profundidade ostenta

dois níveis mineralizados com espessuras de 1m cada, nas profundidades de 25 e 38m.

Alguns furos de sondagens (01, 02, 03, 04 e 06), estão locados em linha reta e relativamente próximos um do outro, permitindo a construção de um perfil geológico, que mostra em pormenor o comportamento dos corpos litológicos e sulfetados em profundidade (Anexo 12). Uma melhor visualização da complexidade litológica/estrutural da área e suas relações espaciais com os corpos sulfetados pode ser visto na figura 27.

Na área abrangida pelo bloco diagrama (figura 27 e anexo 12) pode-se observar que:

- ocorrem três corpos sulfetados no contato entre rochas metaultrabásicas (tremolita-xisto talco xisto e serpentinito) com metassedimentos (granada-biotita-xisto; sillimanita-biotita xisto; tremolita-biotita-xistos, quartzitos etc).
- cerca de cinco corpos sulfetados, se hospedam exclusivamente em rochas metaultrabásicas (tremolita-xisto, talco-xisto e clorita-xisto).
- pelo menos oito níveis sulfetados, ocorrem encaixados, somente em metassedimentos. Desses oito corpos, dois deles ocorrem no contacto entre metassedimentos diversos e quartzitos.
- os corpos sulfetados quando observados no seu conjunto, exibem um notável paralelismo entre si, com direção NW. Essa direção marca também a foliação principal (milonítica) que por sua vez controla um conjunto de falhas com igual direção. Esta situação mostra um nítido controle tectônico para estes níveis sulfetados.
- embora esses corpos sulfetados estejam controlados tectonicamente eles ocorrem em diferentes litologias. Isso demonstra que o controle litológico é secundário, podendo-se caracterizar que a mineralização teve um comportamento pervasivo em relação a estas litologias. Estas constatações permitem se pensar também em processos de interação fluido/rocha na área.

Da observação dos corpos sulfetados e de suas relações com as encaixantes neste perfil, constata-se ainda que os

FIGURA 27 - BLOCO DIAGRAMA ESQUEMÁTICO
DOS CORPOS SULFETADOS NA PORÇÃO
NW DA ÁREA (CONFECCIONADO A PAR-
TIR DO ANEXO 12)

mesmos exibem um notável paralelismo entre si, e que são concordantes com a direção da foliação principal das rochas, que por sua vez, são condicionadas por um sistema de falhas de mesma direção N-NW (conjunto 2). Esta evidência por si só pode ser considerada como diagnóstica para mostrar que estes níveis sulfetados, estão colocados em zonas de falhas paralelas que afetam tanto os metassedimentos, como também as litologias de origem vulcânicas. A presença dominante de concentrações maiores de sulfetos nos metassedimentos deve estar relacionados a transporte de massa e fluxos hidrotermais canalizados em estruturas descontínuas nestas litologias em oposição a fluxos pervasivos (menores concentrações) nas litologias vulcânicas.

Trabalhos de natureza geofísica tais como eletromagnetometria (EM) e polarização induzida (IP) permitem supor tentativamente que estes corpos são contínuos em profundidade para sul, por cerca de 500 m de comprimento.

A julgar pelos dados plotados na figura 27 e no anexo (12) e considerando ainda o resultado do mapeamento geológico de superfície e o comportamento estrutural da área, esses corpos devem apresentar-se com formas lenticulares em profundidades já que não foram mapeados em superfície. O contacto entre estas zonas com concentrações de sulfeto, com as encaixantes estereis variam de transicionais à brusco. Em resumo estes níveis sulfetados constituem corpos estreitos, com formas lenticulares e mergulhos quase subverticais (Anexo 12) formando concentrações lenticulares concordantes.

A presença extensiva de processos de laterização em superfície, sem contudo formar gossans típicos é também um critério analítico, para demonstrar que os corpos sulfetados dificilmente afloram e caso isto ocorra, encontram-se intensamente intemperizados, de maneira tal que não puderam ser mapeados.

7.2. Descrição das Assembléias Sulfetadas

A assembléia de minerais que compõem os níveis sulfetados hospedados em metassedimentos e metavulcânicas na área, são relativamente simples, constituindo-se em essência de pirrotita, pirita, esfalerita, pentlandita e calcopirita. Os dois

primeiros minerais são muito abundantes, correspondendo na maioria das vezes à quase totalidade dos sulfetos presentes. Associado à esta assembléia sulfetada, ocorrem em quantidades subordinadas ilmenita, rutilo, titanita, magnetita e espinélios cromíferos.

Na maioria das rochas metavulcânicas praticamente inexistem concentrações maiores de sulfetos, como as referidas anteriormente, mas localmente, pirrotitas, pirritas e principalmente pentlanditas podem ocorrer. Em geral predomina uma assembléia de minerais na forma de "óxidos" constituído predominantemente por magnetita, cromomagnetita e ilmenita. Localmente os óxidos chegam a atingir 20% da composição total da rocha.

Em termos de concentração dos sulfetos presentes nos níveis sulfetados, o minério foi classificado como maciço (quando a quantidade de sulfeto perfaz mais de 20% da composição total da rocha); semi-maciço (quando o sulfeto se apresenta em quantidades superiores a 10%) e disseminado (quando a quantidade de sulfeto é inferior a 10%). Níveis de sulfetos maciços podem ser observados no Furo 01 no intervalo entre 125 e 126m; Furo 06 na profundidade de 26 a 26,30m e furo 10 na profundidade de 92,750 e 93,0m; sendo que os demais níveis foram classificados como semi-maciço. As fotografias 2, 3 e 4 mostram respectivamente as mineralizações classificadas como de sulfeto maciço, semi-maciço e disseminado.

Macroscopicamente é possível observar que os sulfetos e também os óxidos estão arranjados das mais diversas maneiras na matriz metassedimentar e metavulcânica, mas via de regra são fortemente controlados pela foliação milonítica. As fotografias 5, 6, 7, 8, 9 e 10 mostram os diferentes graus de deformação macroscópica nos sulfetos bem como suas relações com a foliação das encaixantes.

7.3. Observações microscópicas das assembléias sulfetadas.

O estudo microscópico das associações minerais que compõem os níveis mineralizados hospedados em metassedimentos, bem como daquelas que ocorrem nas litologias metavulcânicas, revelou a existência de um pequeno número de minerais de minérios que não difere muito daquilo que foi observado macroscopicamente.

FOTOGRAFIA 02(F10-92,70) -
No detalhe, minério maciço
com estrutura de brecha,
onde os fragmentos da
rocha encaixantes são ci-
mentados por sulfetos, pre-
dominantemente pirrotitas.

FOTOGRAFIA 03(F01-126,35)-
Minério tipo semi-macício
constituído por pirrotita
e pirita. Observar os
fragmentos encaixantes
(Clastos deformados) en-
volvidos por sulfetos. No
interior dos clastos é
possível identificar anti-
gos planos de foliação
marcados por sulfetos, ago-
ra dobrados.

FOTOGRAFIA 04(F03-55,50) -
Minério disseminado cons-
tituído predominantemente
por piritas dispostas ao
longo da foliação. Veios
de quartzo ligados possi-
velmente a processos de
descompressão cortam esta
foliação.

FOTOGRAFIA 05(F-01-188,80)
Pirrotitas disseminadas ao
longo no da foliação for-
temente deformada e envol-
vendo boudins de quartzo
(Qz), em intervalo forte-
mente deformado.

FOTOGRAFIA 06(F04-49) -
Feição comum do minério
sulfetado (maciço e semi-
maciço) constituído predom-
inantemente por piritas e
secundariamente pirroti-
tas. Pode-se observar que
os sulfetos e as tremoli-
tas apresentam-se esti-
rados e rompidos, en-
quanto que o quartzo (qz)
ocorre como boudins alon-
gados.

FOTOGRAFIA 07(F08-37,90) -
Metaperidotito milonítico
mostrando uma alternância
de delgados leitos de co-
lores claras (serpenti-
nas e olivinas tremoliti-
zadas) com leitos escuros
constituídos essencialmen-
te por magnetitas, caracte-
rizando um bandamento tec-
tônico na rocha.

FOTOGRAFIA 08(F05-67,00) -
Quartzo (qz) - granada
tremolita em metasse-
dimento portando concen-
trações sulfetadas (semi-
maciço). Observa-se que a
mineralização se concentra
preferencialmente onde
ocorre brechação (em de-
trimento dos locais onde a
rocha tem comportamento
plástico).

FOTOGRAFIA 09(F01-150,30)-
Quartzo - tremolita
mostrando concentrações
sulfetadas de pirita e
pirrotita (semimacício)dis-
postos na foliação e sem-
pre contornando clastos
deformados. Observa-se
ainda a presença de quar-
tzo deformados, mas niti-
damente posteriores à en-
caixante sulfetada e liga-
dos a processos de descom-
pressão. Uma geração de
quartzo anterior (QA) (em
filmes) também pode ser
observado.

FOTOGRAFIA 10 (F05-68,70) - Minério maciço, intensamente deformado composto essencialmente por pirita, envolvendo boudins com dimensões milimétricas a centimétricas de quartzo em granada-tremolita-xisto.

No entanto, apesar desta simplicidade da assembléia sulfetada a determinação de suas propriedades ópticas, texturais e morfológicas, encontram-se bastante modificadas e exibem um relacionamento complexo decorrentes dos eventos metamórficos e deformacionais que atuaram na área. Em consequência fica difícil determinar com rigor a distribuição temporal dos diferentes minerais. As principais características dos minerais de minério sulfetados representados por pirrotitas, piritas, esfaleritas, calcopiritas e pentlanditas, encontram-se descritas a seguir.

Pirrotitas e piritas

São os dois sulfetos dominantes (localmente um pode ser suplantado pelo outro) e onipresentes nos níveis mineralizados em metassedimentos. Secundariamente níveis sulfetados podem ocorrer em litologias metavulcânicas (anexo 12, Fotografia 2). Suas granulações são variáveis de grosseira a fina. Geralmente exibem granulações grosseiras em locais onde a concentração de sulfeto é mais abundante (maciço e semi-macioso) e granulação fina onde os sulfetos ocorrem como disseminações. Entretanto é comum observar pirrotita e também pirita com granulações grosseiras lado a lado com piritas e pirrotitas de granulação fina. Esta feição é muito comum nas zonas de milonitização que cortam estes níveis sulfetados (Fotomicrografia 23). Formam cristais predominantemente xenomórficos e secundariamente anedrais e algumas vezes alongados e hipidiomórficos (Fotomicrografias 23, 24 e 25). Pirita e pirrotita apresentam relações nítidas de contatos com esfalerita (fotomicrografia 25); com calcopirita (fotomicrografia 26) e com exsoluções de pentlandita (fotomicrografia 27) e calcopirita (fotomicrografia 28). Os contatos entre pirita e pirrotita podem ser nítidos (fotomicrografia 27), outras vezes pirrotita cimenta a pirita ou ainda a substitui das bordas para o centro (fotomicrografia 23). As relações entre pirita e pirrotita com silicatos (ganga) é bastante complexa face aos processos deformacionais que atuaram na área, podendo se dar de várias maneiras:

- Quando ocorrem nos níveis de sulfeto maciço ou semi-macioso, a pirrotita e a pirita praticamente cimentam os minerais silicatados, observando-se na massa sulfetada clastos deformados e boudinados de dimensões variadas de quartzo, tremolita, biotita, feldspato e granada (Fotografias 2 e 3) e (Fotomicrogra-

FOTOMICROGRAFIA 23 - F01-81,30(2) - Pirritas e Pirrotitas xenomórficas, com granulações média a grosseiras constituindo uma massa sulfetada. Entre essas massas de sulfetos, ocorrem pirritas e pirrotitas com granulações finas e cataclásticas. É possível observar pirrotitas formando-se a partir de pirritas, das bordas para o centro.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 24 - F01-85,10. Concentrações maciças de pirrita de granulação grosseira e pirrotitas com granulação média. Observar no detalhe, as relações de contacto entre os grãos de pirrita hipidiomórficos (com ângulos de aproximadamente 120°) demonstrando processos de "annealing" com restos de pirrotitas em posições externas aos cristais de pirrita).

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 25 - F01-194,30 - Estaleritas e Pirritas hipidiomórficas, granulação média a grosseira, localmente preenchendo zonas de fraturas em matriz tremolítica.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 26 - F01-196,25 - Pirrotitas e esfaleritas e calcopirita, preenchendo fraturas perpendiculares aos planos principais de fraturamento. Esses planos principais são paralelos à foliação cataclástica da rocha.

Nicol descruzado.

FOTOMICROGRAFIA 23 $\overline{250}$

FOTOMICROGRAFIA 24 $\overline{620 \mu}$

FOTOMICROGRAFIA 25 $\overline{62 \mu}$

FOTOMICROGRAFIA 26 $\overline{62 \mu}$

fia 29). Os "boudins" e clastos da fase silicática usualmente mostram formas arredondadas e ovaladas. Quando eles são contornados por pirita, pirrotita ou pelos demais sulfetos, geram frequentemente arranjos morfológicos semelhantes a microdobras (Fotografia 3). Embora parte dessas micro-estruturas possam corresponder a dobras verdadeiras, certamente, uma boa parte delas são decorrentes das diferenças de comportamento mecânico, do conjunto silicato/sulfeto e da natureza relativamente plástica dos corpos sulfetados. Não raro os minerais sulfetados também formam clastos arredondados e constituindo microbandas paralelas à foliação dos silicatos (fotomicrografia 30). Em resumo observa-se que as piritas e pirrotitas ocorrem das seguintes maneiras:

- Como sulfeto semi-macizo e disseminado a pirrotita, pirita e também outros sulfetos e mesmo os óxidos, ocupam os planos de foliações (milonítica e cataclástica) das rochas (Fotografias 3 e 6), (Fotomicrografia 31).
- Substituem clastos silicáticos intensamente fraturados (Fotomicrografia 32).
- Preenchem fraturas diversas.
- Preenchem ápices, flancos de dobras, regiões de cataclase e zonas de deformação intensa na ganga silicática.

As ações deformacionais atuantes sobre os níveis mineralizados conduziram também à impressão de um microbandamento tectônico entre a ganga silicática e os diferentes tipos de sulfetos e óxidos, que é melhor observado nas bandas de pirita e pirrotita (Fotografias 5, 6, 7 e 8). Os inter-relacionamentos observados entre a fase silicática e os minerais opacos atestam que os processos deformacionais atuantes foram enérgicos, levando à formação local de verdadeiras brechas de minérios. Essas deformações generalizadas de sulfetos (alinhamentos, dobramentos, fraturamentos, etc.) são comparáveis com aquelas estudadas por McQueen (1987) em depósitos de sulfeto macizo de níquel, no oeste da Austrália.

As deformações que atuaram sobre as encaixantes e mineralizações, dificultam grandemente a análise das relações temporais, texturais e estruturais do minério e até no estabelecimento das associações minerais. Isto porque, parece claro que a formação de pirita e/ou pirrotita ou ainda outros sulfetos e óxidos presentes nas diferentes foliações podem ter ocorrido em in-

FOTOMICROGRAFIA 27(F01-126,35-14) - Pirrotitas com granulações grosseiras, xenomórficas em contacto com piritas de granulações grosseiras euedral e piritas de granulação média, hipidiomórficas mostrando annealing, com restos de pirrotitas em posição. No detalhe pode-se observar exsoluções (flames) de pentlandita no interior da pirrotita.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 28(F01-101,15) - Pirrotitas com granulação grosseira subedrica portadoras de exsoluções de calcopirita.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 29(F01-126,35,9) - Porfiroclastos de tremolitas com formas ovaladas, entremeados por pirrotitas e pirita. É possível observar zonas de moagem parcialmente recristalizada próximo aos clastos, com sulfetos em posições intermediárias caracterizando "fluxo cataclástico".

Nicóis descruzados

FOTOMICROGRAFIA 30(F01-81,30) - sulfeto maciço bandado constituído pela alternância de leitos de tremolita, pirrotita e secundariamente pirita, concordante com a foliação principal (C2). Pode-se observar que cristais de pirita mais antigos exibem franjas de recristalização e nestas franjas a pirita se altera para pirrotita. Os silicatos são subordinados e exibem um comportamento similar aos sulfetos, embora possa-se observar localmente zonas de moagens mais intensas junto aos contactos sulfetos/silicatos.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 27 $620\ \mu$ FOTOMICROGRAFIA 28 $620\ \mu$ FOTOMICROGRAFIA 29 $250\ \mu$ FOTOMICROGRAFIA 30 $250\ \mu$

tervalos de tempos diferentes, conforme as próprias foliações. Isto nos dá pelo menos quatro estádios possíveis de formação para pirita e pirrotita ou seja, uma pirita/pirrotita primária, preservada como disseminações nas rochas vulcânicas; pirita/pirrotita secundárias associadas à Foliação S1; piritas/pirrotitas terciárias formadas ou modificadas durante a implantação da foliação milonítica (C2, S2) e pirita/pirrotita pertencentes ao 4º estágio, formadas concomitantemente com a foliação S3 e recristalização.

Essa interpretação não é problemática uma vez que é realmente possível identificar perfeitamente (na maioria dos casos) esses minerais (pirita e pirrotita) nas referidas foliações que são em última análise os locais onde estão os sulfetos. Conforme já mencionado as fotografias 2, 4, 5, 6 e 7, bem como as fotomicrografias 29, 30, 31 e 32 ilustram a presença de pirita e pirrotitas na foliação principal (C2). As fotografias 3, 5 e 8 e as fotomicrografias 31 e 34 ilustram pirita e pirrotita presentes na foliação mais antiga (S1). A presença de pirita e pirrotita na foliação S3 podem ser observadas na Fotografia 3 e fotomicrografia 24 e 27. De qualquer forma, mesmo observando-se estas associações mineralógicas, com uma certa independência de processos tectônicos, enfocando mais suas relações morfológicas e de contactos com outros minerais, sua textura e quimismo, pode-se chegar às mesmas conclusões anteriores, ou seja:

- A geração mais antiga de pirrotita e pirita pode ser observada nas litologias metaperidotíticas, na forma de pequenos minerais inferiores a 0,1mm (Fotomicrografia 33). Esses cristais devem ser os remanescentes dos sulfetos que se formaram quando o magma ultrabásico de filiação komatiítica se cristalizou.

A segunda geração de pirita e/ou pirrotita (PY2 e PD2) em termos cronológicos, formam concentrações maciças a semi-maciças. Os cristais são anédricos e apresentam granulação grosseira (Fotomicrografia 31 e 34). Nessas massas sulfetadas ora predomina a pirita, ora predomina a pirrotita. Essa pirita se caracteriza por uma superfície impregnada por material microcristalino reliquiar que representa uma foliação mais antiga (Fotomicrografias 31, 32, 33, 34 e 35). O conjunto (material microcristalino/pirita) quando em quantidades suficientes formam "bird eyes". Quimicamente essa pirita diferencia-se de piritas de outra

geração por conterem elevados teores de arsênio, prata e ouro. Contemporaneamente a esta fase de geração de pirita, temos a formação de pirrotitas apresentando características, muito semelhantes às descritas para a pirita.

A terceira geração de pirita e pirrotita resultou da atuação do metamorfismo e deformação intensa sobre a pirita e pirrotita da segunda geração. Essa deformação provocou uma mistura tectônica entre as massas sulfetadas (PY2 e P02) com as encaixantes metaultramáficas, desenvolvendo localmente um bandamento tectônico na mineralização. Pode-se observar que durante a atuação destes processos, os sulfetos tiveram um comportamento dúctil, enquanto que as encaixantes sofreram cataclase generalizada caracterizando no conjunto um fluxo cataclástico. Essas feições encontram-se didaticamente ilustradas nas fotomicrografias 29, 30 e 31. A pirrotita formada anteriormente sob este processo patrocinam a formação de soluções sólidas de pentlanditas e calcopirritas. De acordo com Ramdohr (1980, pg. 546), altas temperaturas atuando sobre pirrotita, permite que o níquel e o cobre se desmisturem, cristalizando como pentlandita e calcopirita.

Um quarto tipo de geração de pirita e pirrotita (PY4 e P04) é gerado por processos metamórficos que causam uma recristalização generalizada na área em estudo (fotomicrografias 24 e 27), afetando os diversos minerais. Essas pirritas subeudrais a eudrais, apresentam relações de contatos com ângulos de 120° , com geração de pirrotitita (P04) nos contatos entre os grãos de pirita.

Com a continuidade do processo e incremento da temperatura, é possível que tenha se formado ainda uma nova pirita (PY5) bem cristalizada com formas euédricas (Fotomicrografia 27 e 34).

Esfaleritas

A esfalerita é um mineral relativamente comum nos níveis sulfetados alojados em metassedimentos, ocorrendo sempre, em quantidades subordinadas e raramente suplantando outros sulfetos (Fotomicrografia 25). Possui dimensões inferiores a 0,1mm, e seus cristais predominantemente são xenomórficos. Exibem nítidos contatos com outros minerais sulfetados ou silicáticos e preferencialmente ocupa planos de fraturas ou cataclase na ganga sili-

FOTOMICROGRAFIA 31 (F03-40,50 B) - Aspectos de duas gerações distintas de pirita em planos de foliações também distintos. A pirita mais antiga (PY2) ocorre como uma massa (com início de recristalização) associada a uma foliação caracterizada pela presença de restos de minerais silicatados microcristalino no seu interior. A segunda geração (PY3) está intensamente deformada, ao longo da foliação "S". Mais atentamente pode-se observar início da formação de uma nova geração de piritas (PY4), através de processos de recristalização nas 2 gerações anteriores.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 32 (F03-40,50A) - pirrotitas e piritas ocupando fraturas em cristais rotados e fraturados de granada em zonas de deformação. No conjunto observa-se sulfetos na foliação principal, interligadas por fraturas secundárias levemente discordantes da foliação principal e sulfetos e fraturas nos clastos em posição discordante.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 33 (F10-64,30) - matriz peridotítica encerrando magnetita dobrada, mas concordantes com a foliação principal. Pode-se observar ainda minúsculos cristais de pirita possivelmente de origem magmática, dispersa na matriz.

Nicóis descruzados..

FOTOMICROGRAFIA 34 (F03-42,0) - mostrando duas gerações de pirita. A primeira e mais antiga (PY-3) é xenomórfica e impregnada de material silicático. O segundo tipo é constituído por piritas (PY 4) subhedrais formadas por processos de recristalização a partir da primeira.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 31 $620\ \mu$ FOTOMICROGRAFIA 32 $250\ \mu$ FOTOMICROGRAFIA 33 $62\ \mu$ FOTOMICROGRAFIA 34 $620\ \mu$

cática.

Ao microscópio observa-se um tipo mais escuro, (Fotomicrografia 26) e um outro com coloração mais clara (Fotomicrografia 25). Ambos os tipos se associam a pirrotita níquelífera e, pirita recristalizada do tipo 4. Esta associação mineralógica da esfalerita, mais sua presença predominantemente em planos de fraturas nas rochas, e ausência de deformações intensas, são evidências de que as mesmas se formaram ao tempo de formação da pirita e/ou pirrotita tipo 4 ou ainda concomitantemente com a pirita e/ou pirrotita tipo 5, possivelmente pela ação de processos hidrotermais.

Calcopirita

A calcopirita é um mineral de minério, disperso irregularmente, nos metassedimentos. Ocorre em fracas disseminações detectadas ao longo dos furos de sondagens, formando grãos regulares subeudrais (Fotomicrografia 26); grãos com formas irregulares anedrais (Fotomicrografia 24) e ainda como lamelas de exsolução em pirrotita (Fotomicrografia 28). Localmente podem ser observadas maiores concentrações de calcopirita (fotomicrografia 24). Nessas situações invariavelmente formam agregados com esfalerita e pirita. Em geral os cristais de calcopirita são inferiores a 0,1mm.

No que concerne às suas relações temporais, temos cerca de três gerações de calcopiritas a saber:

- A primeira e mais antiga calcopirita (1), ocorre como exsoluções na pirrotita, e deve corresponder a sua formação inicial por desmisturação (Fotomicrografia 28).
- A calcopirita 2, ocorre via de regra substituindo a pirrotita das bordas para o centro (Fotomicrografia 24 e 35), principalmente em zonas de fraturas.
- A calcopirita 3, corresponde a formas bem cristalizadas desse mineral. (Fotomicrografia 26) em zonas de fraturas e em íntima associação com esfalerita.

Pentlandita

Na área em estudo ocorrem três tipos específicos de pentlandita em função da litologia hospedeira. O primeiro tipo

tem sua ocorrência nos níveis sulfetados hospedados nos metassedimentos, enquanto que os outros dois estão associados a níveis sulfetados e disseminações nas rochas vulcânicas.

A pentlandita presente nos níveis de sulfeto maciço, semimacício, e disseminado hospedados nos metassedimentos, via de regra ocorrem como exsolução, nos cristais de pirrotitas exibindo texturas em chamas sempre orientados (Fotomicrografias 27), e mais raramente como cristais individuais. Exsoluções, de pentlanditas são quase onipresentes na pirrotita onde geralmente é bem desenvolvida mas pode também ocorrer com certa frequência em pirita níquelífera e cobaltífera.

Nas rochas metaultrabásicas típicas a pentlandita forma disseminações finas no interior de porfiroblastos (serpentininas e tremolita-xisto, principalmente) com dimensões inferiores a 0,02mm ou então formam glóbulos de dimensões variáveis entre 0,02mm a 0,3mm, na matriz metaperidotítica (fotomicrografia 36). Ambos os tipos apresentam deformações que são controlados pela foliação e estão intimamente associados com quantidades subordinadas de pirrotita e magnetita martitizada. Além desses tipos, a pentlandita se associa também com níveis de sulfeto maciço, hospedados em metaperidotitos vulcânicos que tem como minerais dominantes ora a pirita, ora a pirrotita. Nessa massa sulfetada maciça, a pentlandita ocorre como disseminações nos porfiroblastos de antigas olivinas (hoje tremolitas), como exsoluções na pirrotita ou ainda como pequenos glóbulos no interior de pirita e pirrotita.

Essas observações microscópicas permitem caracterizar em relação ao aspecto temporal, que a primeira pentlandita (Pnt 1) a se formar, foi aquela que ocorre no interior dos porfiroblastos quer seja como disseminações finas, quer seja como glóbulos. Possivelmente estas pentlanditas tem sua origem ligada à diferenciação magmática primária. O segundo tipo associado à massa sulfetada, pentlandita (2) está relacionado a processos de exsoluções de pirrotita e pirita (Fotomicrografia 27).

7.4. Observações microscópica na assembléia óxido

De um modo geral, a assembléia mineral óxido presente na sequência vulcano sedimentar é representada por ilmenita, rutilo, magnetita, cromita e hematita, sendo que os dois pri-

meiros são predominantes nos metassedimentos. Nos tipos vulcânicos a magnetita é o mineral mais importante, seguida de hematitas ilmenita e cromita.

Ilmenita e rutilo

Esses dois minerais são dominantes nos metassedimentos e quase sempre estão juntos, sendo nítida a transformação de rutilo em ilmenitas (Fotomicrografia 37).

Esses minerais formam cristais com dimensões variáveis entre 0,02mm a 0,3mm, predominando cristais xenomórficos, embora formas subeudrais possam ocorrer (Fotomicrografia 38). Via de regra se concentram localmente na matriz silicática e quase nunca apresentam relações de contatos com sulfetos. Esses óxidos apresentam-se pouco deformados em relação à assembléia sulfetada, a que lhes garante um posicionamento tardio em relação aos mesmos. Pode-se observar que a maior parte do rutilo e ilmenita presentes nos metassedimentos, tem suas origens ligadas às alterações metamórficas de anfibólitos (Fotomicrografia 38).

Nas litologias vulcânicas praticamente inexistem rutilo, enquanto que a ilmenita ocorre associada com magnetita em quantidades subordinadas.

Magnetita e hematita

Magnetita, secundada por hematita, forma os óxidos dominantes nos metaperidotitos vulcânicos e serpentinitos atingindo localmente proporções superiores a 20%. As concentrações de magnetita preferencialmente ocorrem de quatro maneiras:

- Na foliação principal conferindo um bandamento aos serpentinitos e peridotitos (Fotografia 07).
- Acompanhando cristais de serpentinas e olivinas que se arranjam em texturas spinifex (Fotografia 07).
- Como delgados leitos no interior de clastos ovalados.
- Preenchendo fraturas nos diversos minerais silicáticos que formam os metaperidotitos.

Pode-se observar que além da forte orientação exibida pela magnetita (Fotomicrografia 33), esse mineral, não raramente também está dobrado e recristalizado. Forma agregado mineral xenomórfico na ganga silicática com dimensões variáveis de

FOTOMICROGRAFIA 35 (F10-92,70) - calcopiritas com granulação grosseira, se formando a partir de pirrotitas de quarta geração. Os diminutos pontos de cor amarelo claro em clastos de tremolita, correspondem a pentlanditas.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 36 (F01-163,50) - Detalhe de pentlanditas globulares, em matriz metaperidotítica associadas com magnetita.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 37 (F01-85,10-3) - Ilmenitas com granulação média xenomórficas, substituindo mineral de rutilo. Pode-se observar ainda minerais de cromitas na matriz tremolítica.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 38 (F01-98,40-3) - Grande cristal de rutilo, mostrando alterações para ilmenitas (manchas de cor creme) e em contacto com pirrotitas níquelíferas.

Nicóis descruzados.

FOTOMICROGRAFIA 35 $\overline{250 \mu}$ FOTOMICROGRAFIA 36 $\overline{62 \mu}$ FOTOMICROGRAFIA 37 $\overline{620 \mu}$ FOTOMICROGRAFIA 38 $\overline{620 \mu}$

submicroscópica até 0,25 mm. A magnetita frequentemente altera-se para hematitas (martitização), com as lamelas de hematita formando típicas estruturas reticuladas (Fotomicrografia 39). A associação de magnetita martitizada ou não, com pseudomorfo de olivina; com cristais aciculares de antigas olivinas (hoje tremolitas) que formam textura "spinifex", associa-se ainda a finas disseminações de pentlandita na matriz peridotítica, permite supor que a magnetita apesar de deformada e recristalizada, sejam primárias (formaram-se contemporaneamente com os peridotitos). Uma outra evidência da formação magmática desta magnetita é sua associação com pentlandita formando glóbulos na matriz peridotítica, conforme descrito anteriormente. Nos metassedimentos este tipo é praticamente ausente.

Espinélios cromíferos

Cromita pode ser observada em alguns níveis sulfetados alojados nos metassedimentos, e mais raramente nas litologias metaperidotíticas. Quando associada com sulfetos nos metassedimentos, apresenta-se com dimensões variáveis entre 0,02 a 0,1mm, cristais subeudrais a eudrais (Fotomicrografia 37). A presença de cromita nos níveis metassedimentares é função dos processos deformacionais que atuaram na área, levando à formação de brechas com formas arredondadas nas rochas metaultrabásicas, promovendo ainda uma mistura tectônica entre as rochas metaultrabásicas e metassedimentos. A cromita hospeda-se nestes fragmentos líticos arredondados (Fotomicrografia 37). Nestes fragmentos líticos temos associado com a cromita ilmenita e secundariamente sulfetos.

7.5. Geoquímica dos corpos sulfetados

Composição das concentrações sulfetadas

Ao longo dos furos de sondagens, portadores de concentrações sulfetadas mais expressivas (maciços, semi-macícios e disseminados) foram feitas análises químicas rotineiras para dosagem de teores dos elementos Cu, Zn e Ni nas rochas dos furos

62 μ

FOTOMICROGRAFIA 39 (F08-34,60) Magnetita em matriz metaperidotitica, mostrando processos de martitização. O reticulado de coloração mais clara, corresponde à hematita.

(1, 2, 3, 4, 5, 7, 8 e 9) além de Co, Cr e Pb, para o furo 01. Esses teores (anexo 14) foram plotados nos perfis de sondagens, permitindo uma melhor visualização de suas variações nas diferentes litologias, conforme pode ser observado nos anexos 4, 7, 8, 9, 10, 11.

Assim para o furo de sondagem 01 (Anexo 04) os resultados analíticos de 87 amostras, revelam de um modo geral, que o cobre e o zinco possuem uma boa correlação nos intervalos metassedimentares onde estão presentes as concentrações sulfetadas. Os conteúdos de zinco em particular são bastante elevados, com valores crescentes a partir de 150 metros de profundidade, atingindo valores máximos de 0,38% na profundidade de 195,70m. Além desses outros intervalos, tais como os de 24m, 31m, 33, também apresentam teores elevados de zinco, da ordem de pelo menos cinco vezes os valores de background (300 ppm). Os pequenos deslocamentos apresentados pelo elemento zinco em relação aos níveis sulfetados se deve ao sistema de amostragem empregado (uma análise a cada metro). O cobre apresenta um comportamento semelhante ao do zinco, apresentando valores crescentes e máximos nos mesmos intervalos onde o zinco também é máximo. O valor máximo obtido para o cobre no nível de 85,1m, atinge uma concentração da ordem de 0,12%. O elemento níquel não apresenta uma boa correlação com o cobre e o zinco e geralmente onde os valores de zinco e cobre são máximos, os de níquel são decrescentes. Quando se considera o sistema de amostragem empregado de metro a metro, fica obvio que os valores de níquel, foram diluídos pela mistura com amostra de metassedimentos. No entretanto esses valores são suficientemente elevados, para caracterizar sua presença também nos níveis sulfetados localizados nos metassedimentos, e não somente associado às rochas vulcânicas (serpentiníto, talco xistos e tremolita xistos) como ocorre naturalmente.

No furo de sonda 02 (Anexo 7), foram realizados 63 análises químicas, com dosagem para os mesmos elementos discutidos no furo de sondagem 01 (Cu, Zn e Ni). Nota-se aí que cobre e zinco além de apresentarem uma boa correlação entre si, se correlacionam também com o níquel. Pode-se observar que, com raras exceções quando um elemento mostra valores crescentes de teores, os outros elementos apresentam comportamento similar. Apesar disto o valor máximo dosado para níquel é em torno de 0,33% em tremolita-xisto; enquanto que para o zinco é em torno de 0,29% em talco-

xisto, e o cobre com teores de 0,04% em metassedimentos. Este é um dos perfis que mostram que os níveis sulfetados, quando hospedados em litologias ultrabásicas/ultramáficas comparativamente com aqueles hospedados em metassedimentos, não apresentam grandes variações no comportamento dos teores dos elementos. Esse fato demonstra mais uma vez que essas concentrações não são litológicas, mas sim pervasivas, já que apresentam um comportamento similar nas diferentes litologias. Vale ressaltar mais uma vez que essas concentrações de sulfetos apresentam-se intensamente deformadas e ocupam zonas de cisalhamento nas rochas vulcânicas ou então ocorrem em locais poupados pela deformação intensa. Os valores de níquel muito mais elevados neste perfil do que nos demais, são facilmente explicados face às litologias apresentadas.

Nos furos 03, 04, 05 e 06 (Anexos 8, 9, 10 e 11 respectivamente), o conjunto de valores de teores para Ni, Zn e Cu tem comportamento similar ao que foi comentado para o furo 02, com teores de níquel muito elevados. No furo 03 onde dominam litologias metassedimentares e intrusivas ácidas os teores de níquel nos níveis sedimentares atingem mais de 0,1%. Essa situação se repete para os furos 04, 05 e 06 atestando que o níquel faz parte das assembléias sulfetadas hospedadas nos metassedimentos, cabendo portanto o mesmo raciocínio efetuado para o furo de sondagem 02.

Algumas análises químicas para Cu, Zn e Ni foram feitas nos testemunhos de sondagens dos furos 08 e 09. Esses furos mostram uma possível sucessão de derrames peridotíticos em perfil com pouca ou nenhuma intercalação de metassedimentos. A presença de pequena quantidade de sulfetos ostentam os mesmos processos deformacionais observados naqueles cortados pelos furos de sondagens 01, 02, 03, 04, 05 e 06. As análises químicas efetuadas mostram baixíssimos valores de Zn e Cu, em oposição ao níquel que apresenta valores elevados, mas normais para estas litologias peridotíticas.

De uma maneira geral os teores maiores de Cu, Zn e Ni correspondem a níveis enriquecidos em sulfetos, onde se tem a presença de calcopirita, esfalerita e pirrotita com exsolução de pentlandita, conforme descrito nos quatro primeiros itens do capítulo 5.

7.6. Química mineral

Face as evidências levantadas nos tópicos procedentes, no sentido de que as concentrações de sulfetos apresentavam-se bastante deformadas e metamorfizadas, efetuar-se a neste item, uma análise geral das características químicas dos principais sulfetos e secundariamente óxidos, descritos no início deste capítulo.

Os dados analíticos sobre sulfetos serão tratados conjuntamente na sequência meta-vulcano sedimentar, porque estão presentes e são correlacionáveis nos metassedimentos e nas meta-vulcânicas. No estudo do quimismo dos óxidos serão consideradas apenas aqueles presentes nos tipos metavulcânicos, já que eles praticamente não ocorrem nos metassedimentos.

As composições químicas dos sulfetos e óxidos estão listados nos anexos 16 e 17. Estes dados em sua totalidade foram obtidos em furos de sondagens. Por esta razão as análises químicas são precedidas da letra F (Furo de Sondagem), seguido de algarismos entre de 0 a 10, que indicam o número de furo e um segundo conjunto de números entre 0 e 200 que indicam a profundidade da amostra analisada. Estas tabelas quando necessário encontram-se normalizadas para 100% (concentração em peso) fornecendo a distribuição catiônica dos sulfetos e óxidos para efeito de fórmulas estruturais.

Química mineral da assembléia sulfetada

Pirrotita

As pirrotitas (tabela 1; anexo 16) apresentam teores (porcentagem em peso) de enxofre variáveis entre 38,89% a 40,67% e de ferro variáveis entre 54,04% a 60,49%. Esses minerais revelam constantemente na sua estrutura teores de níquel que variam entre um mínimo de 0,06% à um máximo de 3,34%, predominando valores de teores entre 0,2% a 0,4%. Além desses o zinco também aparece com uma certa frequência, atingindo valores máximos de 0,73%. Outros elementos tais como As, Ag, Au e Cu, ocorrem em quantidades muito subordinadas e geralmente inferiores a 100ppm.

A pirrotita é com frequência o mineral dominante em depósitos de sulfeto maciço a níquel e cobre, geralmente fo-

mando a matriz para os outros opacos. Vários estudos experimentais demonstram que isto ocorre porque ela é resultante de processos progressivos de exsoluções do enxofre em excesso na pirita, do níquel na pentlandita e do cobre na calcopirita a medida que a solução sólida monossulfetada (MSS) vai se resfriando. Geralmente nesses depósitos, ocorrem pirrotita monoclinica (Fe_7S_8) e hexagonal (Fe_9S_{10}) podendo estar intercrescidas ou não. A variedade troilita pode também estar presente como exsolução na pirrotita hexagonal. Em minérios piritosos geralmente predomina a pirrotita monoclinica que por ação de metamorfismo retrogressivo, passa a pirrotita hexagonal.

A variedade de pirrotita monoclinica concentra mais níquel (0,5-0,6%) em sua estrutura do que a variedade hexagonal (0,14-0,21%) conforme demonstrado por Hudson (1973); Barret et al (1976); Ewers e Hudson (1972), Nickel et al (1974) e Misra e Fleet (1973). Esses mesmos autores salientaram ainda que quando as variedades monoclinicas e hexagonais coexistem, os teores de níquel (0,19-0,72%) são relativamente mais altos do que quando ocorre o par, pirrotita hexagonal-troilita (0,10-0,21%). Esses baixos valores de níquel ou ainda os baixos valores mostrados pela proporção cobalto/níquel, neste par são típicos para pirrotitas que se equilibram em baixas temperaturas (menor que 200°C) (Misra e Fleet, 1973).

A tabela 1 do anexo 16 mostra que a composição média das pirrotitas no presente estudo é em torno de 0,30% (excluindo as análises discriminadas com F03-40,30) e que a proporção metal/enxofre varia entre 0,8 a 0,9%). Estes valores indicam a presença de pirrotita monoclinica (dominante) coexistindo com pirrotita hexagonal e a possível ausência da variedade troilita. Estes dados estão em consonância com aqueles obtidos para a região de Kambalda na Austrália e também com os dados experimentais de Misra e Fleet (1973) segundo os quais:

- minérios ricos em pirita (como é o presente caso) são mais ricos em pirrotita monoclinica. A presença de pirrotita hexagonal, secundárias em termos quantitativos na área pode ser devido ao metamorfismo retrogressivo (fácies xisto verde) que atuou na área conforme descrito no capítulo 6. A figura 28 ilustra a variação composicional das pirrotitas presentes na Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis.

Pentlandita

Os cristais de pentlanditas com textura em "charmas" observado na paragênese sulfetada de Alpinópolis (MG) cujas composições químicas (análises 1-98,40; 1-126,35; 1-188,80; 1-194,30 e 1-196) são mostradas na Tabela 2. Anexo 16 apresentam teores (porcentagem em peso) de enxofre, entre 32,92% à 35,41%, ferro variando entre 28,26% a 34,57% e níquel entre 25,04 a 35,59%. Esses sulfetos quase sempre apresentam-se com elevados teores de cobalto (até 6,37%), embora este elemento não tenha sido detectado em algumas análises. Além desses elementos mais abundantes, arsênio, prata, zinco e ouro, foram detectados nas exsoluções de pentlandita, com conteúdo geralmente inferior a 300ppm.

Pentlanditas com formas de glóbulos (fotomicrografia 36), em serpentinitos localizados na porção Noroeste da área apresentam teores de níquel mais elevados, quando comparados com aquelas que formam exsoluções conforme pode ser observado no anexo 16; tabela 2 (análises com sigla 1-163,50). Nesses glóbulos os teores de níquel variam entre 34,41% a 35,89%; enxofre entre 33,46% e ferro entre 29,70 a 31,33%. Além dessas diferenças pode-se observar também uma forte diminuição nos teores de cobalto, inferiores a 0,61%.

Pequenos cristais (submicroscópicos) de pentlanditas dosadas em serpentinito na parte sudeste da área (Análises com sigla 10-64,30, anexo 16; tabela 2) apresentaram teores de níquel variáveis entre 42,74 e 43,45% de Ni; teores de ferro variando entre 20,77% a 21,37% e enxofre variável entre 33,59% a 34,20% e valores superiores a 2% de cobalto.

Nos metaperidotitos com textura spinifex (Análises com sigla 8-57,90, anexo 16; tabela 2) os minerais de minério de níquel, dosados apresentaram teores de níquel variáveis entre 67,65% a 73,97%; enxofre variável entre 24,37% a 31,37% e ferro variando entre 0,90 e 1,60%, além de baixos teores de cobalto (ordem de ppm) caracterizando a presença de millerita na assembléia sulfetada. O diagrama da figura 29 relativo a tabela 2 do anexo 16 ilustra a variação composicional da pentlandita e millerita.

Estudos realizados por Barret et al (1972) demonstram que pentlandita deficiente em níquel 19-27% (porcentagem

FIG. 28 - Composições de piritas (PY) e pirrotitas (PO) na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG), plotados no sistema Fe-Ni+Co-S (constituído a partir de 23 análises químicas em piritas e 31 análises em pirrotitas).

FIG. 29 - Composições de Pentlanditas e mileritas na sequência vulcano-sedimentar de Alpinópolis (MG), plotadas no sistema Fe-Ni+Co-S. Os pontos demarcados representam variações composicionais destes minerais obtidos a partir de análises de microsonda eletrônica. Construído a partir de 19 análises de pentlanditas e 4 análises de mileritas.

atômica), geralmente são coexistentes com pirrotita hexagonal mais troilita ou pirita, enquanto que pentlanditas que coexistem com pirrotita monoclinica, apresentam teores de níquel um pouco mais elevados (28%-2% at %). Embora variável os teores de cobalto em pentlanditas em associações desta natureza são da ordem de 0,3 a 0,8% em peso (Ewers e Hudson, 1972), não raramente ocorrem teores elevados de até 10% em peso quando a pentlandita está associada a disseminações sulfetadas (Hudson, 1973). A ampla variação nos teores de cobalto em pentlanditas como no presente caso, pode indicar desequilíbrios locais, por ação de metamorfismo retrogressivo (Barret et al, 1976).

De modo geral as pentlanditas analisadas apresentaram composições que se distribuem num campo alongado em direção ao das pirrotitas em decorrência das diferentes proporções ferro/níquel e cobalto em relação a conteúdos de enxofre relativamente constante. Isso sugere substituição de ferro por níquel e secundariamente por cobalto.

Pirita

As análises de pirita (Tabela 3 Anexo 16) revelaram teores (porcentagem em peso) de enxofre variáveis entre 52,34% a 54,21% e teores de ferro variáveis entre 44,59% a 46,96%. Além do ferro e do enxofre, esse mineral pode apresentar teores de cobalto variáveis entre não detectado (0%) até 1,99% de níquel entre 0% a 0,69% e quantidades menores (ppm) de Arsenio prata e ouro. A presença de níquel e cobalto na estrutura da pirita e pirrotita resultam em composições que variam linearmente, numa disposição aproximadamente paralela à linha Ferro-níquel/cobalto (Figura 28).

Esta variação composicional pode ser devido a presença de diferentes gerações de piritas, originadas através de processos metamórficos (ampla variação de temperatura) sobre a concentração sulfetada primária (McQuen, 1979) que já continha pirita. Além disso, essa variação composicional pode também ser explicada pela alteração de pirita para pirrotita e vice versa, conforme se observa nas rochas da Sequência Vulcano Sedimentar de Alpinópolis.

Calcopirita

Em contraste com os outros sulfetos, a calcopirita dosada apresenta composição química uniforme, em relação à fórmula estequiométrica (Tabela 4, Anexo 16), com a relação metal/enxofre próximo à unidade. Também não apresentam valores elevados de outros elementos químicos em sua estrutura, a exceção de zinco que pode ocorrer em quantidade superior a 2,6% (como na análise 126,35 Anexo 16; tabela 4). A variação composicional deste mineral pode ser observada no diagrama da Figura 30.

Esfalerita

A esfalerita presente na associação sulfetada (Anexo 16; Tabela 5) tem teores variáveis (porcentagem em peso) de zinco entre 57,03% a 59,53% de enxofre entre 32,92% a 34,60% e teores de ferro entre 6,87% a 8,10%. Além desses elementos pode ocorrer na sua fórmula química traços de arsênio, prata e níquel. A variação composicional destes minerais pode ser observado na figura 31.

Química mineral da assembléia óxido

Espinélios cromíferos

As análises de microsonda eletrônica em espinélios cromíferos presentes nas rochas da Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (anexo 17, Tabela 1), demonstram que os mesmos exibem uma grande variação composicional em termos de seus constituintes principais e da seguinte magnitude:

FeO variável entre 13,48% à 36,70%

Cr₂O₃ variável entre 14,05% à 52,30%

Al₂O₃ variável entre 11,47% à 49,68%

ZnO variável entre traços à 22,15%.

É possível que estudos mais pormenorizados sobre essa significativa variação composicional em termos de Cr, Al, Fe e Zn demonstrem origens diversas para os mesmos, desde magmática até pós magmática). De qualquer sorte a observação dos resultados permitem caracterizar esses espinélios como sendo cromocercinita (teores de Al₂O₃ superior a 25,8% e Cr₂O₃ inferior a 35,94%), o

FIG. 30 - Composições de calcopiritas na sequência vulcano sedimentar de Alpinópolis (MG). Plotados no sistema S-Cu+Zn-Fe. Os pontos demarcados representam variações composicionais destes minerais, obtidos a partir de análises de microsonda eletrônica. Construído a partir de 13 análises.

FIG. 31 - Composições de esfaleritas na sequência vulcano sedimentar de Alpinópolis (MG). Plotados no sistema S-Fe-Zn. Os pontos demarcados, representam variações composicionais destes minerais obtidos, a partir de análises de microsonda eletrônica. Construído a partir de 21 análises.

cromita (teores de Al_2O_3 inferiores a 11,5% e Cr_2O_3 superior a 43,34%) e ganita com altos teores de zinco e Al_2O_3 , e baixos teores de cromo.

Magnetita

A dosagem química das magnetitas nas rochas da Sequência Vulcano Sedimentar de Alpinópolis (Anexo 17, Tabela 2) permite observar que:

- As magnetitas de serpentinitos (sigla 1-163,50 e 8-57,90) apresentam elevado teor de FeO (total), superior a 98,47% e baixo teor de cromo (na maioria das vezes não detectado).

- A magnetita presente em tremolita-xisto com textura spinifex (siglas 8-48,20; 8-34,60 e 8-77,90) apresenta teor de FeO variável entre 93,06% à 97,24%, mas sempre com teor de cromo em torno de 3%.

- Magnetita dosada em matriz peridotítica (sigla 10-64,30, fotomicrografia 33) apresenta teor de FeO variável entre 90,87% a 93,42%, mas com teores de Cr_2O_3 em torno de 6%.

Os aspectos composicionais acima mencionado evidenciam uma nítida diminuição nos teores de cromo, acompanhado de um aumento nos teores de FeO, na medida em que se caminha de rochas metaperidotíticas (Sigla 10-64,30) para rochas metapiroxeníticas/metaperidotíticas (Sigla 8-48,20; 8-34,60 e 8-77,90) e serpentinitos. Desta maneira é possível caracterizar a presença de magnetita cromífera para os dois primeiros tipos e magnetita com baixo teor de cromo em serpentinitos. A nomenclatura correta para esses tipos é difícil, no sentido que o equipamento utilizado para efetuar as análises não diferencia o ion ferroso do férrico. De qualquer maneira consideramos genericamente esses óxidos como sendo magnetitas, embora parte deles devam corresponder a wustita.

Ilmenita e rutilo

Esses dois minerais, embora tenham sido analisados em diferentes tipos litológicos não acusaram diferenciações composicionais.

As ilmenitas presentes na Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG), revelaram para seus principais componentes os seguintes teores: (Anexo 17, Tabela 3)

TiO₂ variável entre 51,33% a 53,77%

FeO variável entre 29,97% a 46,56%

MnO variável entre 0,49 a 14,56%.

As análises de rutilo (Anexo 17; Tabela 4) para a sequência dosaram para seus constituintes principais os seguintes teores:

TiO₂ variável entre 98,12% a 99,08%

FeO variável entre 0,14% a 0,72%

Cr₂O₃ variável entre 0,03 a 1,25%.

Esses dois minerais, embora tenham sido analisados em diferentes tipos litológicos, não acusaram diferenciações composicionais, como por exemplo as hematitas.

8 - GÊNESE DAS CONCENTRAÇÕES SULFETADAS NA UNIDADE VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINÓPOLIS.

8.1. Introdução

Para explicar a origem de concentrações sulfetadas em sequências vulcano-sedimentares similares à descrita em Alpinópolis (MG), várias teorias genéticas vêm sendo propostas nos últimos anos, sendo as principais:

- teoria magmática
- teoria metamórfica
- teoria vulcano-exalativa

A teoria magmática foi inicialmente proposta por Evers & Hudson (1972) e Naldrett (1973). Posteriormente esta teoria foi aprimorada por Ross & Hopkins (1975), Ussen (1979), Naldrett (1979), Groves (1979), Martson & Kay (1980), Naldrett (1981) e Naldrett & Campbell (1982). De uma maneira geral todos esses autores concordam que as concentrações sulfetadas em associações vulcano-sedimentares de filiação komatiítica são resultantes de processos de diferenciação magmática; contudo, divergem entre si no que concerne à época de separação temporal entre o líquido sulfetado e o líquido magmático, resultando na formação dos dois principais tipos de minério:

- a) maciço primário, ocupando as porções inferiores dos derrames ultramáficos/ultrabásicos.
- b) disseminados, de matriz ou de bolha, localizados estratigraficamente acima do minério maciço.

Para Evers & Hudson (1972), Ross & Hopkins (1975) e Martson & Kay (1980), essa separação ocorreria durante a ascensão do magma. Para Naldrett (1973, 1981) e Naldrett & Campbell (1982), a separação se daria no piso oceânico, após o extravasamento dos derrames.

Um outro ponto de divergência entre os autores é quanto a origem do enxofre no magma. Neste aspecto alguns autores advogam que o enxofre viria de fontes externas para o magma em cristalização, formando concentrações sulfetadas a partir da extração de níquel e cobre do magma silicatado. Para outros, o enxofre é parte integrante do magma, concentrando-se inicialmente

por imiscibilidade, ficando assim disponível para reagir com os metais do magma silicatado.

De maneira sumarizada, a teoria magmática se apoia nas seguintes evidências.

- 1 - Ocorrência universal de acumulações sulfetadas de níquel e cobre próximo aos contatos basais das rochas ultrabásicas komatiíticas.
- 2 - Composição geoquímica similar em termos de (Ni-Cu-Co) entre os diferentes tipos de minério (maciço, matriz, disseminado), bem como seu posicionamento no domínio de soluções ricas em enxofre (conforme diagrama Fe-S-Ni+Co), no campo da solução sólida mono-sulfetada em temperaturas magmáticas.
- 3 - A relação Ni/Cu, ou ainda a relação Cu/Cu+Ni, mostram valores constantes, respectivamente entre 10-15 e 0,10, refletindo a distribuição regular do minério no líquido sulfetado. Depósitos hidrotermais, não mostram esta constância.
- 4 - Ausência de alterações hidrotermais nos depósitos.
- 5 - Presença de bolhas de minério sulfetado ("bleby ore") estratigraficamente acima do minério maciço, indicando a existência de processos de segregação magmática e de imiscibilidade de sulfetos, sendo as gotas de sulfeto impedidas de se juntar ao sulfeto maciço, pela cristalização dos silicatos.
- 6 - Geralmente os elementos concentrados nesse tipo de depósito (Cu-Ni), apresentam altos valores de coeficiente de distribuição entre sulfeto e silicato, devido a imiscibilidade da fase sulfeto que se concentra na base das camadas (Rajamani e Naldrett, 1978; Fleet 1979).

De acordo com a teoria metamórfica, defendida dentre outros, por Barrett et al. (1981), Fleet (1977, 1979), Martson & Kay (1980) e Donaldson (1981), a partir de rochas originalmente com baixos teores em sulfetos de níquel, pode ocorrer enriquecimento e a formação de concentrações sulfetadas níquelíferas, causadas por reações metamórficas oxidantes, envolvendo principalmente alterações talco-carbonáticas e processos de serpentinição. A aplicação dessa teoria na formação de depósitos envolve a idéia de metassomatismo com difusão metálica e liberação de enxofre, em resposta a um gradiente termal atuando sobre pré-concentrações níquelíferas de origem magmática.

O modelo vulcano-exalativo foi desenvolvido por Lusk (1976a e b), ao constatar que na região de Kambalda (Austrá-

lia), o minério maciço de Ni-Cu, além de exibir bandamento, ocorria próximo a metassedimentos ricos em pirita e que, não raro, apresentavam alterações hidrotermais (cloritização) em sua lapa. Essas evidências levaram Lusk (op.cit.), a propor para esses depósitos uma formação similar a dos depósitos de sulfeto maciço de cobre e zinco, descritos por Sangster & Scott (1976) no Canadá. Posteriormente, Bavington (1981) chama a atenção para a presença de concentrações sulfetadas portadoras de pentlandita em metassedimentos na região de Kambalda, confirmando assim a atuação de soluções hidrotermais na formação desses depósitos. Essa hipótese sofreu ainda várias reformulações propostas por Robson & Hutchinson (1982), que fazem uma ampla revisão sobre o assunto, no sentido de aplicar esta teoria na formação do depósito níquelífero de Redstone no Cinturão Abitibi Belt (Canadá), também hospedado em sequência vulcano-sedimentar.

8.2. A Gênese e a evolução geológica das concentrações sulfetadas

Os dados obtidos durante esse estudo sobre os corpos sulfetados da área de Alpinópolis não permite, a priori, estabelecer sua gênese como decorrente exclusivamente de apenas uma das teorias retromencionadas. Os vários eventos ou processos de recorrência metamórficos e deformacionais que atuaram regionalmente, levaram a uma evolução geológica local excepcionalmente complexa, a qual se encontra impressa também nos sulfetos, obliterando feições que pudessem ser determinantes para enquadramento direto dessas concentrações em um dos modelos genéticos sumarizados no item anterior. Em consequência, propõe-se aqui um esquema evolutivo em quatro estágios, envolvendo a formação e as sucessivas modificações sofridas pelos corpos sulfetados, ao longo da história geológica da área de Alpinópolis, a saber:

Estágio 1

- Os níveis sulfetados estudados estão intimamente relacionados com sequências vulcânicas constituídas por peridotitos, piroxenitos e basaltos, todos de filiação komatiítica, além de possíveis basaltos de composição aluminosa. A suite sedimentar inter derra-

mes é representada por tipos litológicos diversos que originariamente deveriam corresponder a cherts e tufo principalmente.

- Durante a formação desse cortejo litológico no piso oceânico, a exalação de soluções hidrotermais (solfataras e fontes termais), durante e após a extrusão de derrames máficos/ultramáficos sucessivos, ricas em metais de transição (Fe, Ni, Co, Cu) conduziram à formação inicial de concentrações sulfetadas, possivelmente maciças, dominadas por sulfetos de ferro (pirita e pirrotita), enriquecidos nesses metais de transição (Bavinton e Kears, 1979, Groves et al, 1978, Bavinton, 1981, Groves e Barley, 1987). As reentrâncias e depressões existentes no substrato vulcânico, seriam os principais metalotectes, para aprisionar estas salmouras metalíferas (Greshan e Loftus-Hills, 1981). O enxofre necessário para se combinar com os metais, viria com a própria salmoura (Hutchinson et al, 1980; Finlow, 1980) através de processos lixiviantes na pilha vulcano-sedimentar, com origem semelhante para os metais calcófilos. Possivelmente as fracas disseminações de pirita-pirrotita, pentlandita, milerita, magnetita e cromita, presentes nas vulcânicas (fotomicrografia 33) representam minerais primários disseminados, originados por segregação magmática, e preservados da dissolução pelos processos geradores das condições exalativas.

- Nesse estágio teriam se formado as concentrações maciças e semi-maciças de pirita e pirrotita (PY1, Po1) possivelmente acompanhadas de metamorfismo hidrotermal (Coombs, 1961). Apoiam estas idéias a presença de formações ferríferas e a espessura reduzida dos derrames na área.

ESTÁGIO 2

Após a formação do minério maciço e/ou semi maciço no piso oceânico, toda a região foi palco de deformação e metamorfismo intenso, que atingiram condições de (fácies Anfibolito), que afeta as rochas encaixantes e os corpos sulfetados que permaneciam na posição original de sua formação. Este evento gerou uma foliação (S1) muitas vezes preservada no interior dos corpos sulfetados, caracterizada pela impregnação de material microcristalino reliquiar (Fotomicrografia 31 e 34). A pirita formada durante esse evento metamórfico (PY2 e Po2) se difere quimicamente das outras, geradas em outros estágios, em função dos altos teores de

arsênio, prata, ouro e são praticamente isentas de cobalto. É importante ressaltar que nesse estágio a Temperatura mínima foi superior a 500°C, sendo que seu limite superior atingiu seguramente o início de fusão de rochas, conforme atestado pela ocorrência local de várias infiltrações graníticas, o que pode ter causado inclusive a fusão de sulfetos presentes.

ESTÁGIO 3

Um novo evento tectono-metamórfico atinge a área, gerando uma forte foliação milonítica de transposição em posição oblíqua àquela formada no estágio 2 (Fotomicrografia 31), caracterizada pelo par S_2-C_2 (fotomicrografia 30), que corresponde à foliação principal na área, formada por associações paragenéticas de clorita, tremolita, talco, serpentina, balizando o metamorfismo como de fácies xisto verde, com temperaturas máximas da ordem de 500°C. Esse processo afetou tanto as rochas supracrustais (encaixantes) como também os corpos sulfetados e rochas do embasamento cristalino. Tornando-os regionalmente concordantes segundo uma direção regional NW.

As supracrustais e em particular os sulfetos do estágio anterior reagem a esta deformação com um comportamento dúctil, o que é atestado pela moagem intensa (porfiroclastos rotacionados de pirita, tremolita e quartzo), dentro de bandas formadas por intenso estiramento de pirita e pirrotita (Fotomicrografia 30), gerando muitas vezes feições de brechas mineralizadas (Fotomicrografia 29) e bandamento tectônico no minério (Fotomicrografia 30 e Fotografias 2, 3, 6, 7 e 8). Esta foliação (S_2-C_2) é responsável ainda pela geometria lenticularizada exibida pelos corpos (figura 27) e pela mistura tectônica entre as encaixantes meta-vulcano-sedimentar (Fotomicrografias 30, 32 e Fotografias 6, 7 e 10). Um evento deformativo (D3), afeta a foliação S_2-C_2 , gerando dobramentos com eixo NS e fechamentos com direção NW, sendo o responsável pela atual distribuição dos corpos sulfetados.

Os sulfetos formados anteriormente sob ação desse novo regime tectono-metamórfico, vão sofrer recristalizações generalizadas e patrocina a formação de exsoluções de pentlanditas e/ou calcopiritas em pirrotita (fotomicrografias 27 e 28), compatíveis com as temperaturas que ocorrem nos limites superiores da fácies xisto verde, correspondendo a uma terceira geração de sul-

fetos (PY3 e Po3).

Em resumo no estágio 3 teríamos:

- deformação e transposição de uma estrutura mais antiga S₁, gerando uma nova foliação (C₂, S₂).
- as concentrações sulfetadas previamente formadas mostram estas feições de deformação intensa, através de recristalizações, estiramento e brechação.
- em consequência desses processos tectono-metamórficos os corpos sulfetados assumem as posições espaciais atuais.
- Quimicamente os minerais de minério sofrem mudanças e se enriquecem em cobre, níquel e cobalto.

ESTÁGIO 4

O estágio 4, também é caracterizado por um evento deformativo (D4) com metamorfismo nas condições de fácies xisto verde (temperaturas inferiores a 300°C), acompanhado de alteração hidrotermal. Esse evento, provoca o surgimento de falhas com direção Nordeste, dobrando coaxialmente a foliação anterior (Fotografias 3 e Fotomicrografia 33), gerando uma nova foliação dada principalmente por crenulações e kink bands (S₃).

Nestas condições de deformação menos intensa e temperaturas mais brandas, parte da pirrotita é substituída por pirita subédrica (Fotomicrografia 24) que gradativamente tendem a piritas édricas (Pr4 e Po4) (Fotomicrografia 27). Os fluídos que acompanharam este evento metamórfico, reagem com as rochas encaixantes, provocando localmente feldspatização, cloritização e talcificação. Nas fraturas provocadas por D4, ocorre deposição de esfalerita e calcopirita (Fotomicrografias 25 e 26), as quais não sofreram nenhuma deformação posterior.

9. CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados dos estudos realizados nas rochas que compõem a Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis (MG), bem como de corpos sulfetados nelas hospedados, são esboçados resumidamente a seguir.

Sobre as litologias presentes na área

Estudos petrográficos, mineralógicos, texturais e geoquímicos realizados nas rochas que compõem a Sequência Vulcano-Sedimentar de Alpinópolis, mostraram que elas podem ser agrupadas em três suites distintas.

- A primeira, de natureza meta-ultrabásica/meta-ultramáfica, contém os litotipos caracterizados como clorita-tremolita/actinolita-xisto (contendo pseudomorfos de olivina); clorita-tremolita/actinolita-xisto (com de textura spinifex); clorita-tremolita/actinolita-xisto (com clinopiroxênio); serpentinitos (com ou sem carbonato); talco-xisto e hornblenda-xisto. Essa suite de maneira geral é derivada de rochas originais peridotíticas - piroxeníticas, com quimismo komatiítico.

- A segunda, de natureza básica, engloba os tipos litológicos, caracterizado como plagioclásio - hornblenda-tremolita/actinolita-xisto e anfibolitos. Essa suite é interpretada como sendo derivada de rochas originais de composição basáltica.

- A terceira suite caracterizada na área, corresponde a metassedimentos, incluindo: granada-biotita xisto portadores ou não de sillimanita e estaurolita, biotita xisto, granada antofilita xisto, clinozoisita-tremolita/actinolita fels e tremolita/actinolita-biotita xisto. De um modo geral, essas rochas são interpretadas como derivadas de sedimentos pelíticos aluminosos, margosos e tufáceos.

Uma quarta suite, caracterizada por rochas de composição essencialmente granítica e intensamente deformada, também está presente na área. Merece atenção a mineralogia exótica desenvolvida localmente nos contatos desta suite com rochas de natureza ultrabásica, levando à formação de marunditos.

Sobre o metamorfismo

As assembléias mineralógicas formadoras das rochas que compõem a referida Sequência Vulcano-Sedimentar, marcam a presença de dois eventos metamórficos principais. O primeiro atingiu uma temperatura mínima compatível com os limites inferiores da fácies anfibolito (metamorfismo de médio grau, caracterizado pela presença de biotita-estaurolita e sillimanita-estaurolita-antofilita, o que permite supor temperaturas da ordem de 600°C e pressões superiores a 4 kilobares. O segundo evento metamórfico (retrogressivo), certamente não ultrapassou os limites superiores da fácies xisto verde, conforme atestam as assembléias mineralógicas constituídas por clorita-serpentina-talco-carbonato e clinozoisita-actinolita-quartzo. Apesar destes eventos metamórficos, o estudo de texturas reliquias, e das assembléias minerais permitiram esboçar as diferentes transformações mineralógicas sofridas pelos vários minerais primários. Observações sumárias sobre os aspectos microtectônicos exibido pelos minerais mostram resultados consoantes com as observações acima.

Sobre o quimismo dos minerais silicatados

Estudos adicionais visando caracterizar quimicamente os principais minerais presentes nas suítes litológicas da área, mostraram resultados interessantes, permitindo determinar que:

- Os anfibólios da suíte metaultramáfica são mais ricos em magnésio do que os das demais suítes. Na suíte metabásica os anfibólios apresentam pequena variação em cálcio, um comportamento oposto ao que ocorre na suíte metassedimentar.

Os minerais de serpentina presentes correspondem a lizarditas e antigoritas.

- Os piroxenios ocupam campos composicionais dos endiop-sídios, diopsídio/salita e augita.

- Os plagioclásios variam de albita à andesina.

- Os minerais do grupo das cloritas plotam nos campos da talco-clorita, peninita, clinocloro, pinoclorita e ripidolita.

- As granadas correspondem essencialmente a almandina.

- Os epidotos presentes correspondem a zoisita e clinozoisita.

Características gerais dos corpos sulfetados

Os corpos sulfetados que se hospedam em rochas da Sequência Vulcano-Sedimentar, formam corpos "stratabounds" com espessura média de 1 metro, mas que localmente podem chegar a 4 metros. No que concerne à participação dos sulfetos presente, esses corpos podem ser classificados como maciço, semi maciço e disseminado.

A configuração espacial dos corpos, bem como sua geometria lenticularizada é controlada pela foliação principal da área (milonítica - S_2C_2). Via de regra, esses corpos ocupam os planos dessa foliação que correspondem à zonas de cisalhamento. 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 dos sulfetos, ocorre ainda uma assembléia de óxidos formada principalmente por ilmenita, rutilo, magnetita e hematita.

Observações microscópicas

Embora a assembléia mineral sulfetada seja simples em termos quantitativos e qualitativos os eventos tectono-metamórfico que aí atuaram provocaram modificações intensas (texturais e posicionais), tornando difícil a recuperação da distribuição temporal destas associações minerais, considerando que a sua formação e desenvolvimento estão ligados à própria evolução geológica da área. Considerando este aspecto pode-se caracterizar a presença de quatro gerações de pirita, duas gerações de pentlandita, uma geração de esfalerita e três gerações de calcopirita.

A assembléia óxido é constituída predominantemente por rutilo e ilmenita em metassedimentos, e por magnetita e hematita em metaperidotito. A magnetita em particular, mostra um comportamento evolutivo similar àquele ocorrido com a assembléia sulfetada, tendo sido identificado duas gerações distintas deste óxido.

Quimismo dos sulfetos

O estudo do quimismo das assembléias de sulfetos e óxi-

dos mostrou que o metamorfismo foi determinante modificando em muito as assembléias mineralógicas presentes, caracterizando-se que:

- A pirrotita presente nos corpos sulfetados é predominantemente monoclinica e secundariamente hexagonal, o que explica os valores relativamente altos de níquel em suas estruturas, individualizando-se, ainda, pirrotita formadas em altas e baixas temperaturas (correspondentes ao metamorfismo nas fácies anfibolito e xisto verde).

- A variação composicional exibida pelas pirita é marcada pela entrada de elementos menores em sua estrutura (Ni, Co, As, Ag e Au), face aos processos tectono-metamórficos atuantes e que patrocinaram a formação das várias gerações de pirita.

- Disseminações microscópicas de pentlandita (pentlandita primárias) contém mais níquel e cobalto em sua estrutura do que aquelas em forma de glóbulos e exsoluções. Essa deficiência em níquel, foi tentativamente relacionada com os eventos metamórficos que atingiram a área, o que é corroborado pela ampla variação nos teores de cobalto nas mesmas.

- A Calcopirita apresenta composição química uniforme, podendo conter elevados teores de zinco na sua estrutura.

- A esfalerita mostra uma ampla variação percentual de ferro em sua estrutura e traços de níquel, arsênio e prata.

- A magnetita presente em metaperidotitos e metapiroxe-nitos é mais rica em cromo e mais pobre em ferro do a presente em serpentinitos.

- Os espinélios cromíferos apresentam intensa variação química, resultando em diferentes tipos tais como, cromoercinita, cromita e ganita.

Gênese das concentrações sulfetadas

A integração dos vários estudos realizados, levando em conta a evolução geológica da área, permitiram esboçar um modelo genético tentativo em quatro estágios a saber:

- Processos exalativos (solfataras e fontes termais), ricos em metais de transição, que ocorreram durante e após extrusões de derrames máficos e ultramáficos, levaram à formação inicial de corpos de sulfetos maciços, em reentrâncias e depressões nos substratos vulcânicos.

- Após sua formação no piso oceânico, ocorreu o primeiro evento metamórfico (fácies anfibolito), que afeta tanto as encaixantes, como também o minério maciço, gerando uma foliação (S₁) e provocando recristalizações, mudanças composicionais e mineralógicas no minério.

- Um novo evento tectono-metamórfico, caracterizado pelo surgimento de uma forte foliação de transposição (C₂) e metamorfismo na fácies xisto verde afetou a área. Os corpos sulfetados e suas encaixantes reagem ductilmente a esta deformação. Neste evento se dá a ruptura e lenticularização dos corpos sulfetados. A nível mineralógico, vão ocorrer novas recristalizações, que patrocinam a formação de exsoluções de calcopiritas e/ou pentlanditas, enriquecendo o minério em níquel e cobre.

- Um último evento deformativo, acompanhado por soluções hidrotermais (fácies xisto verde), provocam o surgimento de novas falhas, fraturas e ainda uma nova foliação dada por crenulações e Kink-bands. A esse tempo forma-se uma nova geração de pirita e pirrotita subédrica a euédrica. Soluções hidrotermais enriquecidas em zinco e cobre, vão ser responsáveis pela cristalização de calcopirita e esfalerita em fraturas.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALECRIM, J.D. e PINTO, L.C. (1980) - Considerações sobre alguns elementos traços em sedimentos de corrente na região de Fortaleza de Minas (MG). Soc. Bras. Geol., An. XXXI Congr. Bras. Geol., 1:57-67 (SC).
- ALMEIDA, F.F.M. de (1967) - Origem e evolução da Plataforma Brasileira. Dep. Nac. Prof. Min. - Div. Geol., Min., Bol. 241, Rio de Janeiro.
- ALMEIDA, F.F.M. de (1968) - Evolução tectônica do centro-oeste brasileiro no Proterozóico superior. Anais Acad. Bras. Ciênc. 40 (suplem.): 285-295.
- ALMEIDA, F.F.M. de (1978) - Regimes Tectônicos Arqueanos na Evolução Proterozóica e Mineralizações do Leste Brasileiro. An. Acad. Bras. Ciênc., 50(4):601-602.
- ALMEIDA, F.F.M. de (1979) - O Craton do Paramirim, An. I Simp. Craton São Francisco e suas Faixas Marginais.
- ALMEIDA, F.F.M. de (1981) - O Craton do Paramirim e suas relações com o do São Francisco. An. Simp. sobre o Craton do São Francisco e suas Faixas Marginais (SBG - Núcleo da Bahia): 1-10.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de (1976) - The Upper Precambrian of South America. Bol. Inst. Geoc. UPS 7:45-80.
- ALTENBERGER, U.; HAMM, N. & KRUHL, H.J. - 1988 - Movements and Metamorphism North of the Insubric Line Between Val Loana and Val D'Ossola, N Italy (Western Alps) - Jb. Geol. B.A. - Wien (in press).
- ARNDT, N.T. - 1977 - Partitioning of nickel between olivine and ultrabasic and basic komatiite liquids. Yb. Carnegie Instn. Wash. 76, 553-557.
- ARNDT, N.T.; NISBET, E.G. - 1982 - What is a komatiite. In: Arndt, N.T. & Nisbet, E.G. (eds.) - Komatiites. George Allen & Unwin, London. p. 19-27.
- ARTUR, A.C. - 1988 - Evolução policíclica da Infra-Estrutura da porção Sul do Estado de Minas Gerais e regiões adjacentes do estado de São Paulo - Tese de Doutorado. USP, 230p. (inédito).

- AVE'LALLEMANT & CARTER, N. - 1970 - Syntectonic Recrystallization of Olivine and Modes of Flow in the Upper Mantle - Geol. Soc. Am. Bull.; vol. 81, p. 2203-2220.
- BARBOSA, O. - 1955 - Guia das excursões do IX Congresso da Sociedade Brasileira de Geologia. Noticiário nº 3, Sociedade Brasileira de Geologia. Rio de Janeiro.
- BARBOSA, O.; BAPTISTA, M.B.; DYER, R.C.; BRAUN, O.P.G. e COTTAS, J. C. - 1969 - Geologia e inventário dos recursos minerais do projeto Brasília. Rio de Janeiro, DNPM/PROSPEC, 255p. inédito.
- BARBOSA, O.; BAPTISTA, M.D.; DYER, R.C.; BRAUN, O.P.C.; FRATIN, H.; MENEGUISSO, G. - 1970a - Projeto Goiânia. Relatório Preliminar. Rio de Janeiro, Prospec3DNPM, 75p. (inédito).
- BARBOSA, O.; BRAUN, O.P.G.; DYER, R.C.; CUNHA, C.A.B.R. - 1970b - Geologia da região do Triângulo Mineiro. Rio de Janeiro, DNPM CPRM (b.136). 200p.
- BARLEY, M.E.; GROVES, D.I. - 1987 - Hydrothermal Alteration of Archaean Supracrustal Sequences in the central Norseman - Wiluna Belt, Western Australia: A Brief Review. Pré-Cambrian Gold Deposits. Geol. Dep. & Univ. Extension, Univ. West. Australia, Publ. 11, 51-66.
- BERRETT, F.M. GROVES, D.I. and BINNS, R.A. - 1976 - Importance of metamorphic processes at the Nepean nickel deposit, Western Australia. Trans. Inst. Min. Metall., 85B: 252-273.
- BERRETT, F.M.; BINNS, R.A.; GROVES, D.I.; MARSTON, R.J. and McQUEEN, K.G. - 1977 - Structural history and metamorphic modification of Archean volcanic-type nickel deposits, Yilgarn Block, Western Australia. Econ. Geol., 72:1195-1223.
- BAVINTON, O.A. and KEAYS, R.R. - 1978 - Precious metal values from interflow sedimentary rocks from the komatite sequence at Kambalda, Western Australia. Geochim. Cosmochim. Acta, 42: 1151-1163.
- BAVINTON, O.A. - 1981 - The nature of sulphidic sediments at Kambalda and their broad relationships with associated ultramafic rocks and nickel ores. Econ. Geol. 76, 1606-1628.
- BLUMENFELD, P.; MAINPRICE, D. & BOUCHEZ, J.L. - 1986 - C-slip in Quartz from Subsolidus Deformed Granite - Tectonophysics, vol. 127, p. 97-115.
- BRANDALISE, L.A. et alii - 1971 - Geologia Preliminar da região

- Meridional de Minas Gerais na escala 1:250.000. In: CPRM Belo Horizonte. Projeto Folha do Rio de Janeiro - Belo Horizonte. 3v. Anexos V.3 Mapas Geol. Convênio DNPM/CPRM.
- BRAUN, O.P.G. e BAPTISTA, M.B. - 1978 - Considerações sobre a geologia pré-cambriana da região sudeste e parte da região centro-oeste do Brasil. Soc. Bras. Geol., Núcleo da Bahia, Bol. Esp. 3:225-231.
- BROOKS, C.; HART, S. - 1974 - On the significance of komatiites. *Geology* 2, 107-110.
- CAMARGO, R.C.; SOARES, P.C.; CARVALHO, S.G.; FIORI, A.P.; SCABORA, J.A. - 1986 - Relatório de pesquisa geológica do Prospecto Ribeirão da Conquista. J.S. mineração Ltda (rel. int.).
- CANDIA, M.A.F. - 1983 - Petrologia dos complexos máfico-ultramáficos de Mangabal I e Mangabal II, Sanderlândia, Goiás. Tese Doutorado, Inst. Geoci. Univ. São Paulo, 400p. (inédito).
- 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 - Anais XXXII Congr. Bras. Geologia, 2:641-647 (Salvador).
- CARVALHO, S.G.; BATISTA, J.J. - 1983 - Prospeção geoquímica de solo no cinturão vulcano-sedimentar "Morro do Ferro", Fortaleza de Minas - MG - In: Simp. de Geol. de Minas Gerais, 2 Belo Horizonte, 1983. Atas de Belo Horizonte, S.B.G. Bol. 3p. 248-258.
- CAVALCANTE, J.C.; CUNHA, L.C.; CHIEREGATI, C.A.; YAMAMOTO, K.; DRUMOND, J.B.V.; ROSA, D.B.; ROCHA, J.M. da & COUTINHO, M.G.M. - 1979 - Projeto Sapucaí, Mapa e relatório final. CPRM-DNPM, São Paulo.
- CHOUDHURI, A.; SZABO, G.J.A.; EBERT, H.D. - 1982 - Feições estruturais e texturais dos derrames ultramáficos a norte e nordeste de Petúnia, sul de Minas Gerais - Ciências da Terra, (7):18-20.
- COMBS, D.S. - 1961 - Some recent work on the lower grades of metamorphism. *AUST.J.SCI.* 24, 203-215.
- CORREIA, C.T. - 1986 - Geologia da folha de Cassia, MG, e Petrologia de seus anfibolitos. Univ. São Paulo, dissertação de mestrado (inédita). 123p.
- CROSTA, A.P.; CHOUDHURI, A.; SZABO, G.A.J.; SCHRANK, A. - 1986 - Relações entre tipos litológicos e suas estruturas regionais nos terrenos Arqueanos e proterozóico do Sudeste de Minas Ge-

- rais. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 34^a, Goiania, Soc. Bras.Geol., Anais... v.2, p.710-721.
- DANNI, J.C.M.; DARDENNE, M.A.; FUCK, R.A. & RIBEIRO, M.J. - 1973 - Geologia da extremidade sudoeste da Serra Dourada (Goiás, Brasil). Rev.Bras.Geoc. 3 (3): 160-180.
- DAVINO, A. - 1979 - O baixo gravimétrico da região de Caldas Novas Goiás. Atas 2^o Simp.Reg.Geol., (SBG - Núcleo de São Paulo), 1: 87-100.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A. e ZUSSMAN, J. - 1977 - An introduction to the rock-forming minerals. Longman, London 528pg.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. - 1966 - minerais constituintes das rochas - uma introdução. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, (trad. Luis E. Nabais Conde), 1981, 558p.
- DONALDSON, M.J. - 1981 - Redistribution of ore elements during serpentization and talc-carbonate alteration of some archaean dunites, western Australia. Econ. Geol., vol. 76, p. 1698-1713.
- EBERT, H. - 1956 - Bertrag Zur Gliederung des Prakambries in Minas Gerais. Geol. Rundsch., 45:471-521.
- EBERT, H. - 1957 - A tectônica do sul do Estado de Minas Gerais. DNPM, Relat. An. Div. Geol. Min.: 97-107 e 136-137.
- EBERT, H. - 1962 - Baustil und Regionalmetamorphose in Prakambri-schen Grundgebirge Brasilians. Tschermaks Mineral. Petrogr. Mitt., 8:49-81.
- EBERT, H. - 1967 - A estrutura pré-cambriana do sudoeste de Minas Gerais e áreas adjacentes. Bol. Paran. Geoc. Curitiba, 26:42-45.
- EBERT, H. - 1968 - Ocorrências de fácies granulítica no sul de Minas Gerais e em área adjacentes, em dependência da estrutura orogênica: hipótese sobre sua origem. An. Acad. Bras.Ciênc. 40 (Supl.) 215-229. Rio de Janeiro.
- EBERT, H. - 1971 - Os Paraibides entre São João Del Rey (MG) e Itapira (SP), e a bifurcação entre Paraibides e Araxaides. Soc. Bras.Geol.Núcleo de São Paulo. Bol. Esp. 1 (Res. Comun. XXV Congr. Bras. Geol.): 177-178.
- EWERS, W.E. and Hudson, D.R. - 1972 - An Interpretative Study of a Nickel-Iron Sulfide Ore Intersection, Lunnon Shoot, Kambalda, Western Australia. Econ. Geol. 67, 1075-1092.
- FINLOW, B.T. - 1980 - The chemical and physical controls on the

- genesis of submarine extralative ore Bodies and their implications for formulating exploration concepts. *Geologisches Jahrbuch*, D. 40:131-168.
- FLEET, M.E. - 1979 - Partitioning of Fe, Co, Ni and Cu between sulfide liquid and basaltic melts and the composition of Ni-Cu sulfide deposits - A discussion. *Econ. Geol.* 74, 1517-1519.
- FLEET, M.E.; MacRAE, N.D. and HERZBERG, C.T. - 1977 - Partition of Nickel Between Olivine and Sulfide: A Test for Immiscible Sulfide Liquids. *Contrib. Mineral. Petrol.* 65, 191-197.
- FONSECA, M.J.G.; SILVA, Z.C.G.; CAMPOS, D. de A. e TOSATTO, P. - 1979 - Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo - Folhas Rio de Janeiro, Vitória e Iguape. Texto Explicativo, MME/DNPM - Brasília, 240pp.
- FYFE, W.S.; LEONARDOS Jr., D.H. - 1974 - Aciert Metamorphic Magmatic belts of the brazilian atlantic coast: the African conection. *Rev. Bras. Geoc.*, 4(4):247-251.
- GERMANI, D.J. & MUNEMASSA, Y. - 1985 - A Lavra da Jazida de Níquel sulfetado Denominado O'Toole, De Fortaleza de Minas (MG). In: *Simpósio de Mineração*, 1ª, Brasília, Instituto Bras. Min. p. 64-81.
- GERARDI, V.A.V. - 1979 - Metamorfismo e seus produtos. Apostila, Curso Pós-Graduação Inst. Geoc. Univ. São Paulo, p. (inédito).
- GRESHAM, J.J. & LOFTUS-HILLS, G.D., 1981 - The geology of the Kambalda nickel field. *Econ. Geol.* 76, 1373-1416.
- GRIFFON, J.C. & RICHTER, H. - 1976 - Geologia, mineração e tratamento do minério de níquel do Morro do Níquel. MG. *Geologia e Metalurgia*, v. 40, pp. 387-405.
- GROVES, D.I.; BARRETT, F.M. & McQUEEN, K.G. - 1978 - Geochemistry and origin of cherty metasediments within ultramafic flow sequences and their relationship to nickel mineralization. In Glover J.E. & Groves, D.I. (eds.), *Archaean Cherty Metasediments: Their Sedimentology, Micropalaeontology, Biogeochemistry and significance to Mineralization* Geol. Dept. & Extension Service, Univ. West. Australia, Publ. 2, 57-69.
- GROVES, D.I.; BARRETT, F.M. and McQUEEN, K.G. - 1979 - The relative roles of magmatic segregation, volcanic exhalation and regional metamorphism in the generation of volcanic-associated nickel ores of Western Australia: *Canadian Mineralogist*, v.17,

pt. 2, p.319-336.

- HASUI, Y. - 1983 - Aspectos geológicos essenciais da sequência de Caconde-Caraguatatuba e suas implicações na reconstituição da organização e evolução do pré-cambriano do leste paulista. Atas 1 Jornada sobre a carta geológica do Estado de São Paulo em 1:5000: 227-252.
- HASUI, Y. e ALMEIDA, F.F.M. de - 1970 - Geocronologia do centro-oeste Brasileiro. Geol. 19(1):5-26.
- HASUI, Y.; SADOWSKI, G.R.; CARNEIRO, C.R. - 1978 - A zona marginal sul do Craton do São Francisco. Soc. Bras. Geol., Núcleo da Bahia, Publ.Esp.3:205-215.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.R. e BISTRICHI, C.A. - 1980 - Estruturas e tectônica do pré-cambriano de São Paulo e Paraná. An.Acad. Cic., 52 (1):61-76.
- HASUI, Y.; OLIVEIRA, M.A.F. de - 1984 - Provincia Mantiqueira - Setor Central. In: ALMEIDA, F.F.M. de & HASUI, Y. (coord.) - O Pré-Cambriano do Brasil. Editora Edgard Blucher Ltda, São Paulo, p. 308-344.
- 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. An. 4º Simp. Geol. MG - SBG, Núcleo MG, bol. 7:179-198. Belo Horizonte, MG.
- HOBBS, B.E. - 1981 - The influence of metamorphic environment upon the deformation of minerals. Tectonophysics, 78:335-383.
- HUDSON, D.R. - 1973 - Genesis of Archaean ultramafic associated nickel-iron sulphides at Nepean, Western Australia. Australas. Inst. Min. Metall. West.Austr.Conf., pp.99-109.
- HUTCHINSON, R.W.; FYFE, W.S. and KERRICH, R. - 1980 - Deep fluid penetration and ore deposition. Minerals Sci. Engng, vol. 12, pp. 107-120.
- LEAKE, B.E. - 1978 - Nomenclature of amphiboles: Canadian Mineralogist. v.16, pt.4. p.501-520.
- LUSK, J. - 1976a - A possible volcanic-exhalative origin for lenticular nickel sulfide deposits of volcanic association with special reference to those in Western Australia: Canadian Journal of Earth Sciences, v.13, p.451-458.
- LUSK, J. - 1976b - A possible volcanic-exhalative origin for lenticular nickel sulfide deposits of volcanic association, with special reference to those in Western Australia reply: Canadian

Journal of Earth Sciences, v.13, p.1651-1653.

- MACHADO FILHO, L.; RIBEIRO, M.W.; GONZALES, S.R.; SCHENINI, C.A.; PALMEIRA, R.C.B.; GATTO, C.M.P.P.; SANTOS NETO, A.; SOUZA JR., J.J.; PIRES, J.L.; TEIXEIRA, W.; MARTINS, V.M.F.; CASTRO, H.E.F.; HERTER, A.M.R. - 1983 - Geologia; In: Brasil - DNPM. Projeto Radam-Brasil. Folhas SF-23- Rio de Janeiro e SF-24 Vitória, Rio de Janeiro. Vol. 32 (levantamento de recursos naturais), 775p.
- MCQUEEN, K.G. - 1987 - Deformation and Remobilization in some Western Australian Nickel Ores. Ore Geology Review, 2, pp., 269-286. Elsevier Sci. Publ. B.V., Amsterdam.
- MARINI, D.J.; FUCK, R.A.; DARDENNE, M. & FARIA, A. (1976) - Contribuição à geologia do Precambriano da Porção Central de Goiás Rev.Bras.Geoc. 7(4):304-323.
- MARSTON, R.J. and KAY, B.D. - 1980 - The distribution, petrology and genesis of nickel ores at Juan Complex, Kambalda, Western Australia: Economic Geology, v. 75, p. 546-565.
- 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 Congr. Bras. Geol., 33, Rio de Janeiro, 1984. Resumos... Rio de Janeiro, SBG. p. 149.
- MASCARENHAS, J. de F. - 1973 - A geologia do centro-leste do Estado da Bahia. An. XXII Congr. Bras. Geol., 2:35-66.
- MISRA, F.C. and FLEET, M.E. - 1973 - The Chemical Compositions of Synthetic and Natural Pentlandite Assemblages. Econ. Geol. 68, 518-539.
- MORAES, L.J. - 1935 - Níquel do Brasil, Rio de Janeiro. DNPM/DFPM. 169p. (Boletim 9).
- 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 - An. 2 Simp. Reg. Geol. - Soc. Bras. Geol. Núcleo de Minas Gerais; pp. 411-422.
- MIYASHIRO, A. - 1979 - Metamorphism and Metamorphic Belts. 4th Impr. George Allen & Unwin Ltd. 492pp.
- NALDRETT, A.J. - 1973 - Nickel sulfide deposits - Their classification and genesis, with special emphasis on deposits of vol-

- canic association. CIM Bull., Nov. 1973, 45-63.
- NALDRETT, A.J. - 1979 - Partitioning of Fe, Co, Ni and Cu between sulfide liquid and basaltic melts and the composition of Ni-Cu sulfide deposits - A reply and further discussion. Econ. Geol. 74, 1520-1528.
- NALDRETT, A.J. - 1981 - Nickel sulfide deposits: Classification, Composition, and Genesis. Economic Geology, 75th ANNIVERSARY vol. pp. 626-685.
- NALDRETT, A.J. and 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.
- NALDRETT, A.J.; CAMPBELL, I.H. - 1982 - Physical and chemical constraints on genetic models for komatiite related Ni-Sulphide deposits In: Arndt, N.T. & Nisbet, E.G. (eds.) - Komatiites. George Allen & Unwin, London. p. 423-434.
- NICKEL, E.H.; ROSS, J.R. and THORNER, M.R. - 1974 - The supergene alteration of pentlandite-pyrrhotite ore at Kambalda, Western Australia. Econ. Geol. 69:93-107.
- NILSON, A.A. - 1981 - The nature of the Americano do Brasil mafic-ultramafic complex and associated sulfide mineralization, Goiás Brasil. Tese de doutorado (Phd). Univ. Western Ontario, 460p. (inédito).
- NORTON, D.L. - 1984 - Theory of hydrothermal systems. Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 12:155-77.
- OLIVEIRA, M.A.F.; CARVALHO, S.G.; MORALES, N.; RODRIGUES, M.F.P.; ZANARDO, A. - 1983 - Geologia das quadriculas de Cássia e São Sebastião do Paraíso (MG) - An. 2 Simp. Reg. Geol. - Soc. Bras. Geol. Núcleo de Minas Gerais; pp. 432-439.
- OLIVEIRA, M.A.F. de - 1984 - Considerações sobre a evolução geológica do Complexo Varginha. An. XXXIII Congr. Bras. Geol., 5:2302-2304.
- RAJAMANI, V. and NALDRETT, A.J. - 1978 - Partition of Fe, Co, Ni and Cu Between Sulfide Liquid and Basaltic Melts and the Composition of Ni-Cu Sulfide Deposits. Econ. Geol. 73, 82-93.
- RAMDOHR, P. - 1980 - The ore minerals and their intergrowths: Pergamon Press, Frankfurt, 2^a ed., 2 vol., 1205p.
- ROBINSON, D.J.; HUTCHENSON, R.W. - 1982 - Evidence for a volcano-

- genic-Exhalative origin of a Massive Nickel Sulphide deposit at Redstone, Timmins, Ontario. In: Precambrian Sulphide Deposits, H.S. Robinson Memorial volume, edited by R.W. Hutchinson, C.D. Spence And J.M. Franklin, Geological Association of Canada. Special paper 25, 1982.
- ROSS, J.R. and HOPKINS, G.M.F. - 1975 - The nickel sulfide deposits of Kambalda, Western Australia: in Knight, C.L. ed., Economic Geology of Australia and Papua, new Guinea, I Metals: Australasian institute of Mining and Metallurgy, p. 100-121.
- SANGSTER, D.F. and SCOTT, S.D. - 1976 - Precambrian, strata-bound, massive Cu, Zn, Pb, sulfide ores of North America: in Wolf, R. H., ed. Handbook of Strata-bound and Stratiform Ore Deposits, v. 6, p. 129-222.
- SANTIVANES, A.O. - 1965 - As coberturas serpentinas níquelíferas do morro do Níquel em Pratápolis, Minas Gerais. Engenharia de Mineração e Metalurgia, 42 (248):61-64.
- SCHIMIDT, W.; FLEISCHER, R. - 1978 - Estilo estrutural do pré-cambriano do Sudoeste de Minas Gerais. In Congresso Brasileiro de Geologia, 30ª, Recife, Soc. Bras. Geol., Anais... v.1, p. 431-433.
- SCHIMIDT, W. - 1983 - Die Geologie der Araxá Gruppe in Sudwest Minas Gerais, Brasilien Unter besonderer berucksichtigung des Grunsteingurtels von Fortaleza de Minas. Freiburg 134p. (tese de doutoramento, Universidade de Freiburg).
- SILVA, J.N.; SEIXAS, S.R.M. - 1977 - Projeto Mantiqueira - Furnas. Relatório final, Conv. DNPM/CPRM, 395p., Riode Janeiro.
- SIMÕES, L.S.A.; VALERIANO, C.M.; ZANARDO, A.; MORALES, N.; GOMI, C.; MERULES, R. - 1988 - Zonação metamórfica inversa do Grupo Araxá/Canastra na região de São Francisco do Paraíso - Alpinópolis - In: Congresso Brasileiro de Geologia, 35ª, Belém, Soc. Bras. Geol., Anais... v.3, p. 1203-1216.
- SOARES, P.C.; CARVALHO, S.G.; TAKIYA, H.; ALVES, R. - 1985 - Aplicação da Krigeagem em prospecção por geoquímica do solo. Atas do 1º Simpósio de Quantificação em Geociências de Rio Claro-SP.
- SOARES, P.C. - 1988 - Tectônica colisional em torno do Bloco Parana, Brasil. In: Congresso Latino Americano de Geologia, 7ª. Belém, Soc. Bras. Geol., Anais... p.63-79.
- SOARES, P.C.; CARVALHO, S.G. - 1989 - A tectônica colisional obli-

- qua entre os Blocos Guaxupé e São Francisco. em preparação.
- SPRY, A. - 1976 - metamorphic Textures - (3²) Reimpressão) - Pergamon Press - p.350 - Oxford.
- SWENSSON, T. - 1968 - Produção de Ferro-Níquel na usina do Morro do Níquel S/A. VI SICEG, VI Semana de Estudo de Ouro Preto.
- TEIXEIRA, N.A. - 1978 - Geologia e petrologia e prospeccão geoquímica da sequência vulcano sedimentar Morro do Ferro, Fortaleza de Minas (MG). Tese de Mestrado. Univ. de Brasília (DF).
- TEIXEIRA, N.A. e DANNI, J.C. - 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. e DANNI, J.C. - 1979b - Petrologia de lavas metabásicas da sequência vulcano sedimentar Morro do Ferro. Fortaleza de Minas (MG). Rev.Bras.Geol. 9(2):151-158.
- TEIXEIRA, N.A. GASPA, J.C.; BRENNER, T.L.; CHENEY, J.T.; e MARCHELLO, C.M.L. - 1987 - Geologia e implicações geotectônicas do Greenstone belt do morro do FERRO (Fortaleza de Minas - MG). Rev.Bras.Geoc. v.17, pp.209-220.
- TROW, R.A.J.; RIBEIRO, A.; PACIULO, F.V.P.; HEILBRON, M.L. - 1984- Os Grupos São João Del Rei, Carrancas e Andrelandia, interpretados como continuação dos Grupos Araxá e Canastra. In:Congresso Brasileiro de Geologia, 33^a, Rio de Janeiro, Soc. Bras. Geol. Anais... v. p. 3227-3240.
- USSELMAN, T.M.; HODGE, D.S.; NALDRETT, A.J. and CAMPBELL, I.H. - 1979 - Physical constraints of the localization of nickel sulfide ore in ultramafic lavas. Can.Mineral. 17(2):361-372.
- VILJOEN, M.J.; VILJOEN, R.P. - 1969 - The geology and geochemistry of the Lower Ultramafic Unit of the Onverwacht Group and a proposed new classification of igneous rocks. Geol. Soc. South Africa, Spec. Publ., 2:55-85.
- VOLL, G. - 1968 - Klastische mineralien aus den Sedimentserien der Schottischen Highlands un ihr Schicksal bei Aufsteigender Regional und Kontaktmetamorphose - Habilitationsschrift - Berlin-D.83, p.360.
- VOLL, G. - 1976 - Recrystallization of Quartz, Biotite and Feldspars-Schwiez. Mineral. Petrogr. Mitt. - vol.56, p.641-647.
- VOLL, G. - 1980 - Ein Querprofil durch die Schwiezer Alpen von Vierwaldstaetter See zur Wurzelzone - Strukturen und ihre

Entwicklung durch.

- WERNICK, E. - 1978a - Contribuição à estratigrafia do Pré-Cambriano do leste do Estado de São Paulo e áreas vizinhas. Rev. Bras. Geoc., 8(3):206-216.
- WERNICK, E. e FIORI, A.P. - 1979 - Contribuição à Geologia da Borda Sul do Cráton do São Francisco. Simpósio sobre o Cráton do São Francisco (no prelo). Salvador.
- WERNICK, E. e FIORI, A.P. - 1981 - Contribuição à Geologia da Borda Sul do Cráton do São Francisco. An. do Simp. sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais. (SBG - Núcleo da Bahia). 169-179.
- WERNICK, E.; FIORI, A.P.; BETTENCOURT, J.S. e CHOUDHURI, A. - 1981 - A tectônica rígida no fim do Ciclo Brasileiro e sua implicação na estruturação da borda sul e sudoeste do Cráton do São Francisco: Tentativa de um modelo preliminar. An. do Simp. sobre o Cráton do São Francisco e suas faixas marginais. (SBG-Núcleo da Bahia):164-168.
- WILLIAMS, D.A.C. - 1972 - Archaen ultramafic, mafic and associated rocks, Mt. Monger, Western Australia. J. Geol. Soc. Aust., 19, 163-188.
- WINKLER, H.G.F. - 1976 - Petrogênese das rochas metamórficas. Editora Edgard Blucher, São Paulo, (trad. Carlos Burger Jr.), 1977, 254p.
- WHITE, D.E. - 1981 - Active Geothermal Systems and Hydrothermal Ore Deposits. In: Skinner, B.J. (ed.) Economic Geology, 75 Anniv. volume, 392-423, Econ. Geol. Publ. Co., El Paso, Texas.
- WHITTAKER, E.J.F.; VICKS, F.J. - 1970 - Chemical Differences Among The Serpentine Polymorphs: A Discussion. The American Mineralogist, vol. 55, 1025-1047.

MAPA GEOLÓGICO DE DETALHE

MAPA DOS TRABALHOS
REALIZADOS NA ÁREA
DE RIBEIRÃO DA CONQUISTA

ANEXO 2

MAPA DE PONTOS E
MEDIDAS ESTRUTURAIS

ANEXO 3

ANEXO 4 - Distribuição dos teores de níquel, cobre e zinco e posicionamento dos níveis sulfetados em diferentes litologias cortados pelo furo de sonda 01, na área de Alpinópolis (MG).

FURO DE Sonda RC-F08

ESCALA 1:500

ANEXO 5 - Distribuição de níquel, cobre e zinco
em diferentes litologias no furo de
sondagem 08 (F08)

FURO DE SONDA RC-09

Cu/Zn	0	15	30	45	60	75	90	105 (ppm)
Ni	0	250	500	750	1000	1250	1500	1750 (ppm)

DESCRIÇÃO PETROGRÁFICA

FURO RC-F02

Distribuição de níquel, cobre e zinco em diferentes litologias no furo de sondagem 02 (F02).

Distribuição de níquel, cobre e zinco em diferentes litologias no furo de sondagem 03 (F03).

FURO RC - F04

Distribuição de níquel, cobre e zinco em diferentes litologias no furo 04 (F04).

FURO RC-F05

PROF. (m)	RESULTADOS ANALÍTICOS									DESCRIÇÃO
	Cu, Zn		50	100	150	200	250	300	350	
	Ni		150	300	450	600	750	900	1050	
									ppm	
01										- Solo marrom-acastanhado.
02										
03										
04										
05										
06										
07										
08										
09										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										
19										
20										
21										
22										
23										
24										
25										
26										
27										
28										
29										
30										
31										
32										
33										
34										
35										
36										
37										
38										
39										
40										
41										
42										
43										
44										
45										
46										
47										
48										
49										
50										
51										
52										
53										
54										
55										
56										
57										
58										
59										
60										
61										
62										
63										
64										
65										
66										
67										
68										
69										
70										

10 a 20% Sulfetos

— Ni
- - - Zn
— Cu

Distribuição de níquel, cobre e zinco em diferentes litologias do furo de sondagem 05 (F05).

FURO RC - F06

Distribuição de níquel, cobre e zinco em diferentes litologias do furo de sondagem 06 (F06).

SEÇÃO GEOLÓGICA NA TRANSVERSAL 18

ANEXO 12 - Seção geológica (painel) na transversal 18

- LEGENDA
- [Sp] Serpentina
 - [Tc] Talcó-xisto e/ou Serpentina - Talcó-xisto
 - [Hb] Hornblenda
 - [Cl] Clorita-xisto
 - [Tr] Talcó-xisto e/ou Serpentina - Talcó-xisto
 - [Cl] Clorita-xisto
 - [MS] Metasedimento (qz, cl, gr, gr-x, gr-bi-tr-x, gr-prg-gr-tr-x)
 - [IA] Intrusão ácida (qz, fsp, musc)
 - [Qz] Quartzo
 - [S] Níquel Sulfetado
 - [Af] Anfibolito em geral
 - [W] Furo de sondagem
 - [P] Píquete
 - [M] Medidas de foliação
 - [T] Trincheira
 - [O] Contato observado
 - [I] Contato inferido
- 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 metros
- 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 metros
- 0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 metros

ANEXO 13

ANEXO 13 - TABELA 01 ANÁLISE QUÍMICA DOS ELEMENTOS MAIORES E TRAÇOS EM ROCHAS DA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINÓPOLIS (MG)
ÁREA DE RIBEIRÃO DA CONQUISTA (24 ANÁLISES)

AMOSTRAS	SiO	Al O	Fe O	FeO	CaO	MgO	Na O	K O	TiO	P O	MnO	H O-	H O+	CO	S	Cr O	NiO
RC 58	52,6	4,0	4,0	6,50	14,9	15,0	0,48	0,24	0,66	< 0,05	0,21	0,32	1,17	0,10	0,023	0,06	0,09
RC 510	43,6	5,2	9,7	4,91	1,6	26,8	0,09	0,04	0,43	< 0,05	0,20	0,54	5,91	0,25	0,012	1,2	0,15
RC T26 10E	51,7	4,1	4,4	5,64	14,3	16,3	0,45	0,25	0,68	< 0,05	0,18	0,52	1,15	0,25	0,020	0,38	0,14
F11 29,75	54,2	14,4	2,7	6,36	9,9	7,0	2,9	0,79	1,2	0,12	0,17	0,05	0,14	0,10	0,038	0,06	0,02
F10 47m	45,9	6,1	6,9	4,62	8,1	22,4	0,10	0,07	0,98	< 0,05	0,22	0,13	3,76	0,10	0,019	0,57	0,17
FD9 59,40	50,6	4,3	4,0	5,78	9,8	19,7	0,36	0,11	0,38	< 0,05	0,20	0,08	2,51	1,4	0,16	0,47	0,20
FD8 57,90	40,6	3,8	8,8	2,89	1,8	33,5	0,06	0,01	0,27	< 0,05	0,16	0,09	7,31	0,20	0,032	0,23	0,33
FD8 77,90	46,7	5,2	5,5	5,78	7,8	23,4	0,30	0,02	0,42	< 0,05	0,20	0,08	3,62	0,20	0,052	0,47	0,20
FD7 35,95	53,0	2,7	2,3	5,06	17,8	16,5	0,36	0,13	0,44	< 0,05	0,19	0,08	0,51	0,75	0,16	0,10	0,08
FD6 24,00	55,0	2,2	6,2	2,45	1,8	27,2	0,03	0,01	0,32	< 0,05	0,09	0,41	3,21	0,30	0,54	0,30	0,42
FD1 163,50	43,9	0,63	8,2	1,73	2,5	35,2	0,04	0,01	0,08	< 0,05	0,16	0,06	6,95	0,20	0,11	0,30	0,19

AMOSTRAS	SiZ	AlZ	FeZ	CaZ	MgZ	Na OZ	KZ	TiZ	PZ	PPCZ	S /Z
FD1 56,00	25,62	2,60	10,00	8,18	1,06	2,03	0,12	0,41	0,02	0,54	0,05
FD1 76,00	26,00	6,77	12,88	3,33	1,02	4,90	0,51	0,57	0,07	0,61	0,42
FD1 205,00	27,98	9,09	5,74	1,66	2,05	4,86	0,92	0,52	0,01	2,21	0,27
FD1 154,00	24,20	2,09	8,76	8,46	8,85	1,48	0,05	0,38	0,03	0,44	0,05
FD1 190,00	17,87	0,40	7,23	0,40	19,30	1,16	0,05	0,05	0,005	10,17	0,15
FD1 165,50	19,14	0,45	7,07	0,34	20,69	0,94	0,05	0,05	0,005	10,33	0,21
FD6 42,00	22,92	2,56	8,15	7,32	9,78	1,48	0,14	0,35	0,03	2,80	0,28
FD6 33,75	19,14	0,44	7,96	0,38	19,43	1,23	0,05	0,07	0,005	10,45	0,05
FD8 48,20	20,74	3,04	8,18	4,34	13,57	1,20	0,05	0,31	0,005	5,05	0,05
FD8 64,30	20,97	3,41	9,27	4,20	14,17	1,51	0,05	0,32	0,03	5,20	0,05
FD9 32,40	23,37	2,31	6,36	6,66	12,14	1,70	0,05	0,17	0,02	2,09	0,05
FD9 76,50	22,49	3,11	8,55	5,01	11,70	1,52	0,05	0,33	0,02	2,82	0,05
FD9 81,70	23,54	2,45	7,09	4,46	12,83	1,13	0,05	0,25	0,02	3,33	0,05

ANEXO 13 - TABELA 01 - CONTINUAÇÃO

AMOSTRAS	Co	Cu	Pb	Zn	Li	Be	Cr	Ni	Sn	V	Y	Ba	Rb	Sr	Zr
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
RC 58	114	565	19	94	13	12	395	700	< 5	370	33	< 20	< 10	16	< 20
RC 510	124	28	10	176	< 5	12	15000	1140	< 5	164	16	< 20	< 10	< 10	< 20
RC T26 10E	102	765	9	170	22	2	2600	1120	< 5	200	23	< 20	< 10	16	< 20
F11 29,75	81	50	5	84	27	< 2	410	144	< 5	310	32	79	28	170	120
F10 470	130	104	12	110	16	< 2	3900	1300	< 5	280	22	< 20	< 10	< 10	26
F09 59,40	97	61	6	66	7	< 2	3200	1600	< 5	290	23	25	< 10	76	36
F08 57,90	135	6	12	72	< 5	< 2	1560	2600	< 5	230	18	< 20	< 10	17	< 20
F08 77,90	114	30	8	44	< 5	< 2	3200	1600	< 5	240	23	22	< 10	60	24
F07 35,95	76	635	8	258	11	< 2	700	640	< 5	300	26	< 20	< 10	15	< 20
F06 24,00	200	200	3	74	9	< 2	2080	3300	< 5	142	16	< 20	< 10	< 10	< 20
F01 163,50	81	18	8	56	< 5	< 2	2040	1480	< 5	80	14	< 20	< 10	< 10	< 20

AMOSTRAS	H	Ba	Be	Ce	Co	Cr	Cu	La	Li	Mo	Pb	Sn	Sr	V	Y	Zn	Zr	Ni	Rb
	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
F01 56,00	66,00	72,00	1,00	25,00	72,00	483,00	19,00	5,00	11,00	5,00	15,00	25,00	64,00	201,00	10,00	144,00	36,00	83,00	-1,00
F01 76,00	65,00	236,00	2,00	25,00	50,00	26,00	51,00	5,00	57,00	5,00	41,00	71,00	180,00	39,00	19,00	211,00	84,00	480,00	34,00
F01 205,00	128,00	322,00	2,00	25,00	65,00	974,00	54,00	22,00	100,00	5,00	61,00	25,00	299,00	160,00	25,00	121,00	152,00	390,00	22,00
F01 154,00	60,00	15,00	1,00	25,00	80,00	2246,00	5,00	5,00	10,00	5,00	86,00	25,00	54,00	177,00	9,00	173,00	40,00	25,00	-1,00
F01 190,00	140,00	5,00	0,50	25,00	124,00	905,00	46,00	5,00	24,00	5,00	15,00	25,00	25,00	35,00	2,50	96,00	5,00	2530,00	-1,00
F01 165,50	178,00	5,00	0,50	25,00	144,00	1069,00	12,00	5,00	14,00	5,00	15,00	25,00	29,00	24,00	2,50	211,00	5,00	3000,00	-1,00
F06 42,00	67,00	5,00	1,00	25,00	89,00	1501,00	49,00	5,00	31,00	5,00	15,00	25,00	68,00	131,00	9,00	111,00	37,00	510,00	3,00
F06 33,75	117,00	5,00	0,50	25,00	114,00	813,00	24,00	5,00	22,00	5,00	15,00	25,00	31,00	32,00	2,50	282,00	5,00	2080,00	-1,00
F08 48,20	54,00	5,00	1,00	25,00	93,00	2254,00	5,00	5,00	22,00	5,00	35,00	25,00	79,00	184,00	7,00	70,00	36,00	360,00	-1,00
F08 64,30	74,00	5,00	0,50	25,00	102,00	2569,00	5,00	5,00	8,00	5,00	15,00	25,00	87,00	195,00	7,00	85,00	34,00	400,00	-1,00
F09 32,40	52,00	5,00	0,50	25,00	84,00	1482,00	25,00	5,00	2,50	5,00	15,00	25,00	116,00	114,00	7,00	65,00	18,00	200,00	-1,00
F09 76,50	39,00	5,00	1,00	25,00	90,00	2194,00	29,00	5,00	14,00	5,00	35,00	25,00	101,00	172,00	11,00	87,00	33,00	126,00	-1,00
F09 81,70	29,00	5,00	1,00	25,00	80,00	1996,00	11,00	5,00	2,50	5,00	15,00	25,00	84,00	132,00	10,00	85,00	28,00	360,00	-1,00

ANEXO 14

ANEXO 14 - TABELA 01 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE AMFIBÓLIOS CALCULADAS NA BASE DE 23 ÁTOMOS DE OXIGÊNIO CONSIDERANDO: (103 ANÁLISES)

1- TODO O FERRO CALCULADO COMO FE2+

2- PARTIÇÃO EM FE2+ E FE3+, SEGUNDO LEAKE 1978

AMOSTRAS	205	300	8	9	10	11	19	20	23	24	26	27	29	30	36	45	48
SiO2	57.00	55.35	55.55	50.41	54.25	56.36	50.30	35.70	51.41	53.34	54.99	52.18	54.59	53.64	54.42	53.68	53.92
TiO2	0.02	0.26	0.09	0.00	0.00	0.00	0.10	0.06	0.32	0.12	0.00	0.29	0.00	0.05	0.17	0.05	0.00
Al2O3	0.47	1.99	1.68	1.86	0.95	1.02	5.86	11.78	6.57	4.17	0.18	5.91	1.55	1.23	1.30	1.33	1.07
Cr2O3	0.07	0.22	0.01	0.09	0.06	0.09	0.22	0.16	0.22	0.14	0.04	0.24	0.08	0.06	0.09	0.05	0.05
Fe2O3	0.00	0.00	0.00	0.00	6.36	0.00	0.00	0.00	5.20	4.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	2.32	8.70	13.67	13.67	2.95	12.63	7.49	8.90	1.24	1.49	8.33	6.47	21.13	21.98	22.31	23.80	23.44
MgO	23.67	17.40	22.23	18.84	19.14	24.68	22.13	27.42	18.49	19.74	22.96	19.30	16.72	16.93	17.41	16.89	16.91
MnO	0.11	0.16	0.33	0.34	0.10	0.29	0.06	0.00	0.09	0.13	0.30	0.17	0.62	0.60	0.70	0.72	0.82
CaO	12.31	12.66	0.65	3.76	12.07	1.06	7.49	1.69	11.02	12.22	7.81	10.87	2.89	1.84	0.76	0.75	0.98
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	0.22	0.40	0.23	0.29	0.06	0.11	0.32	0.15	0.64	0.47	0.04	0.63	0.30	0.12	0.14	0.17	0.10
K2O	0.04	0.01	0.13	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	96.23	97.15	94.57	89.50	95.95	96.24	94.05	86.00	96.04	96.12	94.66	96.00	97.88	96.45	97.30	97.43	97.36
Si	7.913	7.850	7.982	7.809	7.726	7.930	7.280	5.756	7.253	7.501	7.895	7.403	7.921	7.918	7.939	7.890	7.922
Ti	0.002	0.028	0.010	0.000	0.000	0.000	0.011	0.007	0.034	0.013	0.000	0.031	0.000	0.005	0.019	0.005	0.009
Al	0.077	0.333	0.284	0.300	0.160	0.169	0.998	2.233	1.092	0.691	0.030	0.988	0.265	0.214	0.223	0.230	0.184
Cr	0.008	0.025	0.002	0.011	0.007	0.011	0.026	0.020	0.025	0.016	0.004	0.027	0.010	0.008	0.011	0.005	0.006
Fe3+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.681	0.000	0.000	0.000	0.552	0.451	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe2+	0.269	1.031	1.643	1.771	0.352	1.406	0.905	1.197	0.146	0.175	1.001	0.767	2.564	2.713	2.722	2.925	2.880
Mg	4.898	3.678	4.761	4.350	4.063	5.176	4.767	6.574	3.888	4.137	4.913	4.081	3.616	3.725	3.786	3.700	3.703
Mn	0.013	0.019	0.040	0.040	0.012	0.035	0.007	0.010	0.011	0.015	0.037	0.020	0.076	0.075	0.087	0.090	0.101
Ca	1.831	1.924	0.101	0.625	1.842	0.160	1.159	0.291	1.787	1.841	1.202	1.652	0.449	0.292	0.119	0.118	0.155
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.058	0.110	0.065	0.086	0.018	0.029	0.090	0.046	0.176	0.128	0.012	0.172	0.086	0.035	0.039	0.047	0.020
K	0.007	0.002	0.023	0.054	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.006	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL	15.076	15.000	14.909	15.005	14.859	14.995	15.242	16.134	14.972	14.974	15.074	15.140	14.985	14.984	14.945	15.011	14.980
TOTAL - Mg/(Mg+Fe2)	13.180	12.964	14.721	14.821	13.000	14.046	13.993	15.797	13.000	13.000	13.880	13.317	14.451	14.657	14.786	14.846	14.805
Mg/(Mg+Fe2)	0.948	0.781	0.744	0.711	0.920	0.777	0.800	0.846	0.964	0.959	0.831	0.842	0.585	0.579	0.582	0.559	0.563
Si	7.913	7.850	7.982	7.809	7.726	7.930	7.280	5.756	7.253	7.501	7.895	7.403	7.921	7.918	7.939	7.890	7.922
Al	0.077	0.150	0.018	0.191	0.160	0.070	0.720	2.233	0.747	0.499	0.030	0.597	0.079	0.082	0.061	0.110	0.078
Cr	0.008	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe3+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.108	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T (8)	7.999	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	7.929	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al	0.000	0.183	0.266	0.149	0.000	0.099	0.278	0.000	0.345	0.192	0.000	0.391	0.186	0.132	0.162	0.120	0.105
Cr	0.000	0.025	0.002	0.011	0.000	0.011	0.026	0.009	0.025	0.016	0.000	0.027	0.010	0.008	0.011	0.005	0.006
Ti	0.000	0.028	0.010	0.000	0.000	0.000	0.011	0.007	0.034	0.013	0.000	0.031	0.000	0.005	0.019	0.005	0.009
Fe3+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.573	0.000	0.000	0.000	0.552	0.451	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	4.898	3.678	4.723	4.350	4.063	4.891	4.685	4.984	3.888	4.137	4.913	4.081	3.616	3.725	3.786	3.700	3.703
Fe2+	0.103	1.031	0.000	0.490	0.352	0.000	0.000	0.000	0.146	0.175	0.887	0.470	1.189	1.131	1.022	1.170	1.176
Mn	0.000	0.019	0.000	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.011	0.015	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C (5)	5.000	4.964	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Fe2+	0.167	0.000	1.643	1.281	0.000	1.486	0.905	1.197	0.000	0.000	0.914	0.297	1.375	1.583	1.700	1.756	1.704
Mn	0.013	0.000	0.040	0.040	0.000	0.035	0.007	0.010	0.000	0.000	0.037	0.020	0.076	0.075	0.087	0.090	0.101
Mg	0.000	0.000	0.039	0.000	0.000	0.205	0.001	1.590	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.831	1.924	0.101	0.625	1.842	0.160	1.159	0.291	1.787	1.841	1.202	1.652	0.449	0.292	0.119	0.118	0.155
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.076	0.065	0.035	0.018	0.029	0.000	0.000	0.176	0.128	0.000	0.130	0.086	0.035	0.039	0.036	0.020
H (2)	2.011	2.000	1.886	2.000	1.859	1.995	2.152	3.088	1.963	1.969	2.153	2.000	1.985	1.984	1.945	2.000	1.980
K	0.058	0.033	0.000	0.031	0.000	0.000	0.090	0.046	0.000	0.000	0.012	0.142	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000
A	0.007	0.002	0.023	0.054	0.000	0.000	0.000	0.000	0.010	0.006	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
K (0-1)	0.066	0.036	0.023	0.085	0.000	0.000	0.090	0.046	0.010	0.006	0.012	0.140	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000
(Ca+Na)-H	1.831	2.000	0.165	0.679	1.859	0.189	1.159	0.0291	1.963	1.969	1.202	1.683	0.534	0.326	0.159	0.154	0.183

ANEXO 14 - TABELA 01 - CONTINUAÇÃO

ANÁLISES	51	53	62	64	65	66	67	68	69	70	73	107	108	117	119	120	122
SiO ₂	52.20	53.76	53.88	58.12	51.00	44.85	50.44	49.23	53.53	50.07	52.65	49.42	46.33	46.87	47.70	45.13	47.23
TiO ₂	0.01	0.15	0.00	0.11	0.10	0.03	0.14	0.02	0.00	0.00	0.09	0.01	0.14	0.14	0.10	0.41	0.20
Al ₂ O ₃	1.73	1.21	1.12	0.83	0.28	0.35	0.14	0.27	0.10	0.27	0.27	10.03	11.08	11.90	9.83	12.93	11.75
Cr ₂ O ₃	0.03	0.04	0.02	0.03	0.14	0.27	0.17	0.16	0.04	0.19	0.10	0.36	0.80	0.70	0.45	0.84	0.63
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	23.67	23.30	23.18	2.31	2.62	3.71	2.22	2.25	1.82	2.28	1.50	14.86	21.86	21.59	22.70	21.47	20.93
MgO	17.39	17.15	17.14	23.29	28.30	35.72	25.30	20.01	23.32	27.82	22.07	9.63	15.36	14.72	15.00	14.30	15.64
MnO	0.57	0.48	0.56	0.04	0.12	0.14	0.13	0.09	0.18	0.15	0.09	0.17	0.31	0.31	0.33	0.33	0.31
CaO	0.74	1.07	0.75	12.86	10.57	1.96	15.50	11.84	18.90	13.01	20.19	4.04	0.30	0.33	0.26	0.40	0.50
Li ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.09	0.16	0.09	0.17	0.05	0.01	0.06	0.02	0.02	0.04	0.05	2.53	0.94	1.16	0.88	1.23	1.12
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	96.42	97.32	96.74	97.75	94.00	87.03	94.00	91.90	97.91	93.84	97.02	99.05	97.11	97.72	98.24	97.04	98.31
Si	7.767	7.892	7.941	7.932	7.434	6.912	7.355	7.278	7.508	7.274	7.477	6.895	6.828	6.842	6.960	6.658	6.833
Ti	0.001	0.017	0.000	0.012	0.011	0.003	0.004	0.002	0.000	0.000	0.010	0.001	0.016	0.016	0.011	0.045	0.021
Al	0.303	0.209	0.194	0.133	0.047	0.063	0.025	0.048	0.017	0.046	0.045	2.965	1.924	2.047	1.690	2.248	2.004
Cr	0.003	0.004	0.003	0.003	0.016	0.033	0.019	0.018	0.004	0.021	0.011	0.039	0.073	0.081	0.075	0.098	0.072
Fe ₃₊	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ₂₊	2.945	2.860	2.857	0.263	0.314	0.478	0.271	0.278	0.213	0.277	0.178	1.734	2.694	2.636	2.770	2.649	2.532
Mg	3.857	3.752	3.765	4.738	6.053	8.205	5.499	6.172	4.875	6.024	4.672	2.003	3.374	3.203	3.436	3.145	3.373
Mn	0.072	0.060	0.070	0.004	0.014	0.010	0.016	0.011	0.022	0.010	0.011	0.020	0.039	0.038	0.041	0.041	0.038
Ca	0.117	0.168	0.118	1.881	1.625	0.323	2.422	1.875	2.840	2.025	3.072	0.604	0.047	0.052	0.041	0.063	0.078
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.026	0.046	0.026	0.046	0.014	0.002	0.016	0.005	0.006	0.011	0.013	0.685	0.268	0.329	0.248	0.352	0.315
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.003	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL	15.092	15.000	14.974	15.011	15.533	16.038	15.627	15.691	15.485	15.700	15.491	14.945	15.282	15.243	15.271	15.300	15.266
TOTAL -	14.948	14.794	14.830	13.005	13.889	15.713	13.189	13.800	12.639	13.660	12.405	13.856	14.967	14.862	14.982	14.884	14.873
Mg/(Mg+Fe ₂)	0.567	0.567	0.569	0.947	0.951	0.945	0.953	0.957	0.958	0.956	0.963	0.536	0.556	0.549	0.554	0.543	0.571
Si	7.767	7.892	7.941	7.932	7.434	6.912	7.355	7.278	7.508	7.274	7.477	6.895	6.828	6.842	6.960	6.658	6.833
Al	0.233	0.108	0.059	0.068	0.047	0.063	0.025	0.048	0.017	0.046	0.045	1.105	1.173	1.158	1.040	1.342	1.167
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.033	0.019	0.018	0.004	0.021	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ₃₊	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.003	0.004	0.002	0.000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T (B)	0.000	0.000	0.000	0.000	7.507	7.011	7.403	7.346	7.529	7.341	7.544	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.070	0.100	0.135	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.859	0.752	0.890	0.650	0.907	0.836
Cr	0.003	0.004	0.003	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.039	0.093	0.081	0.075	0.098	0.072
Ti	0.001	0.017	0.000	0.012	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.016	0.016	0.011	0.045	0.021
Fe ₃₊	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	3.857	3.752	3.765	4.738	5.000	5.000	5.000	5.000	4.875	5.000	4.672	2.000	3.374	3.203	3.436	3.145	3.373
Fe ₂₊	1.069	1.126	1.097	0.183	0.000	0.000	0.000	0.000	0.125	0.000	0.178	1.098	0.766	0.811	0.829	0.806	0.698
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
C (S)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.861	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Fe ₂₊	1.877	1.734	1.760	0.081	0.314	0.478	0.271	0.278	0.088	0.277	0.000	0.636	1.928	1.825	1.941	1.843	1.835
Mn	0.072	0.060	0.070	0.004	0.014	0.010	0.016	0.011	0.022	0.010	0.011	0.020	0.039	0.038	0.041	0.041	0.038
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	1.053	3.205	0.499	1.172	0.000	1.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.117	0.168	0.118	1.881	1.625	0.323	2.422	1.875	2.840	2.025	3.072	0.604	0.047	0.052	0.041	0.063	0.078
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.038	0.026	0.035	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.685	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
B (2)	2.066	2.000	1.974	2.000	3.007	4.024	3.208	3.337	2.950	3.344	3.072	1.945	2.014	2.000	2.023	2.000	2.000
Na	0.026	0.048	0.000	0.011	0.014	0.002	0.016	0.005	0.006	0.011	0.013	0.000	0.268	0.243	0.248	0.300	0.266
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.003	0.000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A (0-1)	0.026	0.048	0.000	0.011	0.019	0.002	0.016	0.008	0.006	0.015	0.014	0.000	0.268	0.243	0.248	0.300	0.266
(Ca+Na)-B	0.117	0.206	0.144	1.915	1.625	0.323	2.422	1.875	2.840	2.025	3.072	1.209	0.047	0.138	0.041	0.116	0.127

ANEXO 14 - TABELA 01 - CONTINUAÇÃO

ANÁLISES	310	311	312	315	316	325	327	327	331	332	333	336	338	341	350	351	352
SiO ₂	44.16	46.94	44.70	52.71	45.10	53.41	54.56	53.85	52.27	50.65	54.27	53.72	48.51	44.87	52.82	41.76	54.26
TiO ₂	0.45	0.19	0.41	0.00	0.21	0.11	0.00	0.09	0.00	0.17	0.10	0.06	0.49	0.49	0.06	0.38	0.14
Al ₂ O ₃	9.29	7.06	9.33	2.38	0.03	2.01	1.58	2.75	3.44	4.09	2.26	2.90	12.81	13.97	4.22	7.86	3.33
Cr ₂ O ₃	0.00	0.00	0.01	0.00	0.05	1.38	0.42	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03	0.08	0.03
Fe ₂ O ₃	4.74	6.12	5.76	0.94	0.00	0.00	0.00	0.00	1.88	0.00	0.01	2.16	0.04	7.43	1.15	0.00	1.35
FeO	16.00	15.39	16.32	15.46	20.32	6.07	7.09	11.32	10.64	10.57	10.98	10.56	21.40	24.17	8.41	10.73	7.85
MgO	7.92	9.14	8.08	12.39	0.37	17.59	10.36	14.86	14.71	13.93	15.34	15.19	2.49	2.91	17.06	12.71	17.70
MnO	0.14	0.19	0.22	0.27	0.10	0.14	0.17	0.29	0.28	0.18	0.30	0.32	0.10	0.30	0.17	0.22	0.14
CaO	11.38	11.29	11.45	11.98	11.44	12.22	12.58	12.03	12.05	11.64	12.06	12.23	10.20	11.35	12.88	17.66	12.88
Li ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	1.37	0.86	1.35	0.28	1.31	0.31	0.24	0.28	0.36	0.37	0.27	0.27	1.86	2.19	0.55	1.07	0.43
K ₂ O	0.16	0.30	0.13	0.00	0.12	0.07	0.03	0.00	0.02	0.11	0.00	0.00	0.35	0.47	0.26	0.57	0.15
TOTAL	96.41	97.48	97.75	96.40	87.05	94.10	95.02	94.67	95.62	91.73	96.40	97.40	98.26	108.15	97.55	93.04	98.34
Si	6.755	7.041	6.739	7.801	7.753	7.790	7.864	7.816	7.655	7.691	7.845	7.713	6.290	6.333	7.518	6.556	7.625
Ti	0.051	0.022	0.046	0.000	0.027	0.012	0.000	0.010	0.000	0.020	0.011	0.007	0.057	0.052	0.006	0.045	0.015
Al	1.675	1.240	1.657	0.416	0.007	0.346	0.268	0.478	0.595	0.732	0.385	0.491	2.344	2.324	0.709	1.453	0.551
Cr	0.000	0.000	0.001	0.000	0.006	0.159	0.048	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.010	0.004
Fe ³⁺	0.546	0.691	0.654	0.104	0.000	0.000	0.000	0.000	0.207	0.000	0.009	0.233	0.939	0.789	0.123	0.000	0.143
Fe ²⁺	2.150	1.931	2.058	1.913	2.856	0.838	0.855	1.395	1.298	1.342	1.327	1.268	2.779	2.854	1.001	1.409	0.923
Mg	1.005	2.044	1.816	2.733	2.144	3.824	3.944	3.263	3.211	3.153	3.305	3.251	0.577	0.612	3.620	2.974	3.724
Mn	0.019	0.024	0.029	0.034	0.014	0.017	0.021	0.036	0.034	0.023	0.037	0.039	0.014	0.036	0.021	0.030	0.016
Ca	1.865	1.815	1.850	1.900	2.107	1.910	1.943	1.899	1.891	1.894	1.868	1.881	1.697	1.717	1.964	2.971	1.939
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.000	0.250	0.394	0.000	0.438	0.000	0.007	0.079	0.103	0.108	0.077	0.075	0.560	0.599	0.152	0.327	0.117
K	0.031	0.057	0.025	0.000	0.027	0.013	0.005	0.000	0.005	0.021	0.000	0.000	0.070	0.005	0.036	0.114	0.027
TOTAL	15.302	15.122	15.268	14.988	15.445	14.996	15.014	14.975	14.998	14.986	14.945	14.957	15.327	15.401	15.153	15.888	15.084
TOTAL -	13.000	13.000	13.000	13.000	12.874	12.986	13.000	12.998	13.000	12.964	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	12.477	13.000
Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.456	0.514	0.469	0.588	0.423	0.820	0.822	0.701	0.712	0.701	0.714	0.719	0.172	0.177	0.783	0.679	0.801
Si	6.755	7.041	6.739	7.801	7.753	7.790	7.864	7.816	7.655	7.691	7.845	7.713	6.290	6.333	7.518	6.556	7.625
Al	1.245	0.959	1.261	0.200	0.007	0.210	0.136	0.184	0.345	0.349	0.155	0.287	1.710	1.667	0.482	1.444	0.375
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.027	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T (B)	0.000	0.000	0.000	0.000	7.794	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al	0.430	0.289	0.397	0.216	0.000	0.136	0.132	0.293	0.250	0.423	0.230	0.203	0.634	0.657	0.227	0.009	0.176
Cr	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000	0.159	0.048	0.001	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003	0.010	0.004
Ti	0.051	0.022	0.046	0.000	0.000	0.012	0.000	0.010	0.000	0.020	0.011	0.007	0.057	0.052	0.006	0.045	0.015
Fe ³⁺	0.546	0.691	0.654	0.104	0.000	0.000	0.000	0.000	0.207	0.000	0.009	0.233	0.939	0.789	0.123	0.000	0.143
Mg	1.005	2.044	1.816	2.733	2.144	3.824	3.944	3.263	3.211	3.153	3.305	3.251	0.577	0.612	3.620	2.974	3.724
Fe ²⁺	2.150	1.931	2.058	1.913	2.856	0.838	0.855	1.395	1.298	1.342	1.327	1.268	2.779	2.854	1.001	1.409	0.923
Mn	0.019	0.024	0.029	0.034	0.000	0.017	0.021	0.036	0.034	0.023	0.037	0.039	0.014	0.036	0.021	0.030	0.016
C (5)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.986	5.000	4.998	5.000	4.964	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.477	5.000
Fe ²⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.865	1.815	1.850	1.900	2.107	1.910	1.943	1.899	1.891	1.894	1.868	1.881	1.697	1.717	1.964	2.971	1.939
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.135	0.186	0.150	0.000	0.000	0.000	0.057	0.079	0.103	0.106	0.077	0.075	0.560	0.599	0.152	0.327	0.117
B (2)	2.000	2.000	2.000	1.980	2.107	1.997	2.000	1.977	1.994	2.000	1.945	1.957	2.000	2.000	2.000	2.971	2.000
Na	0.271	0.465	0.243	0.000	0.438	0.000	0.007	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.257	0.316	0.117		0.057
K	0.031	0.057	0.025	0.000	0.027	0.013	0.005	0.000	0.005	0.021	0.000	0.000	0.070	0.005	0.036		0.027
A (0-1)	0.302	0.122	0.268	0.000	0.465	0.013	0.014	0.000	0.005	0.023	0.000	0.000	0.327	0.401	0.153		0.084
(Ca+Na)-B	2.000	2.000	2.000	1.980	2.107	1.997	2.000	1.977	1.994	2.000	1.945	1.957	2.000	2.000	2.000		2.000

ANEXO 14 - TABELA 01 - CONTINUAÇÃO

ANOSTRAS	125	126	127	132	133	134	139	174	176	177	182	183	184	185	198	202	212
SiO2	45.59	52.04	55.72	52.47	51.67	51.71	51.81	55.45	55.01	54.48	49.58	55.85	55.43	54.92	55.85	55.44	56.47
TiO2	0.33	0.02	0.00	0.00	0.10	0.00	0.05	0.06	0.06	0.08	0.12	0.06	0.06	0.08	0.16	0.24	0.14
Al2O3	14.43	1.69	1.41	0.31	0.28	0.26	0.24	2.19	2.09	2.39	2.05	1.24	1.36	1.84	1.56	1.65	1.44
Cr2O3	0.71	0.02	0.11	0.08	0.04	0.07	0.03	0.13	0.10	0.00	0.02	0.12	0.22	0.10	0.00	0.09	0.09
Fe2O3	0.00	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.43	1.68	1.90	0.82	0.28	3.06	0.83	0.00	0.00	0.00
FeO	21.31	16.97	15.97	13.81	11.89	12.88	11.81	6.98	7.82	6.51	6.97	7.62	6.08	7.71	2.97	3.10	2.68
MgO	14.53	11.58	11.22	9.45	11.51	10.45	10.84	17.88	17.49	17.78	16.54	18.41	18.47	17.94	24.21	23.82	23.49
MnO	0.20	0.47	0.43	0.66	0.45	0.62	0.64	0.28	0.25	0.39	0.28	0.28	0.20	0.29	0.16	0.10	0.11
CaO	0.49	12.32	10.91	23.57	23.49	23.55	23.39	12.40	12.38	12.16	11.82	12.63	12.38	12.59	11.47	11.26	12.03
Li2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na2O	1.28	0.16	0.12	0.05	0.05	0.06	0.05	0.28	0.28	0.32	0.29	0.25	0.22	0.29	0.55	0.56	0.56
K2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.04	0.08	0.06	0.00	0.05	0.06	0.08	0.03	0.03
TOTAL	98.87	96.89	95.89	100.44	99.48	99.59	98.06	98.11	97.19	96.80	88.54	96.73	97.52	96.65	97.81	96.29	9.05
Si	6.577	7.765	8.199	7.683	7.583	7.618	7.680	7.774	7.801	7.778	7.725	7.917	7.805	7.821	7.726	7.725	7.796
Ti	0.036	0.002	0.000	0.000	0.011	0.000	0.005	0.006	0.006	0.009	0.014	0.006	0.006	0.009	0.016	0.025	0.015
Al	2.453	0.297	0.245	0.054	0.048	0.045	0.042	0.361	0.349	0.402	0.377	0.207	0.226	0.308	0.255	0.271	0.235
Cr	0.081	0.003	0.013	0.009	0.005	0.008	0.003	0.015	0.011	0.000	0.003	0.014	0.025	0.012	0.000	0.009	0.010
Fe3+	0.000	0.181	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.257	0.179	0.204	0.096	0.030	0.324	0.089	0.000	0.000	0.000
Fe2+	2.571	2.117	1.965	1.691	1.459	1.587	1.365	0.818	0.927	0.777	0.908	0.903	0.716	0.918	0.344	0.362	0.310
Mg	3.124	2.575	2.461	2.063	2.518	2.295	2.395	3.736	3.697	3.783	3.841	3.890	3.876	3.808	4.992	4.947	4.833
Mn	0.024	0.060	0.053	0.082	0.056	0.077	0.081	0.034	0.030	0.047	0.037	0.034	0.024	0.035	0.019	0.011	0.013
Ca	0.076	1.970	1.720	3.698	3.693	3.717	3.715	1.863	1.881	1.860	1.973	1.918	1.868	1.921	1.700	1.681	1.779
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.357	0.047	0.033	0.014	0.014	0.018	0.016	0.076	0.077	0.087	0.089	0.067	0.061	0.081	0.147	0.152	0.149
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.008	0.014	0.011	0.000	0.009	0.010	0.014	0.005	0.005
TOTAL	15.299	15.016	14.689	15.293	15.387	15.365	15.301	14.945	14.966	14.961	15.073	14.986	14.938	15.012	15.211	15.188	15.145
TOTAL -	14.866	13.000	12.936	11.581	11.679	11.629	11.570	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.000	13.350	13.350	13.211
Mg/(Mg+Fe2)	0.549	0.549	0.556	0.550	0.633	0.591	0.637	0.820	0.800	0.830	0.809	0.812	0.844	0.806	0.936	0.932	0.940
Si	6.577	7.765	8.199	7.683	7.583	7.618	7.680	7.774	7.801	7.778	7.725	7.917	7.805	7.821	7.726	7.725	7.796
Al	1.423	0.235	0.000	0.054	0.048	0.045	0.042	0.226	0.199	0.222	0.275	0.083	0.195	0.179	0.255	0.271	0.205
Cr	0.000	0.000	0.000	0.009	0.005	0.008	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004	0.000
Fe3+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000
T (8)	0.000	0.000	8.199	7.746	7.647	7.671	7.730	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	7.997	8.000	8.000
Al	1.030	0.061	0.245	0.000	0.000	0.000	0.000	0.135	0.150	0.180	0.182	0.124	0.030	0.129	0.000	0.000	0.030
Cr	0.081	0.003	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.015	0.011	0.000	0.003	0.014	0.025	0.012	0.000	0.005	0.010
Ti	0.036	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.006	0.009	0.014	0.006	0.006	0.009	0.000	0.025	0.015
Fe3+	0.000	0.181	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.257	0.179	0.204	0.096	0.030	0.324	0.089	0.000	0.000	0.000
Mg	3.124	2.575	2.461	2.063	2.518	2.295	2.395	3.736	3.697	3.783	3.841	3.890	3.876	3.808	4.992	4.947	4.833
Fe2+	0.729	2.117	1.965	1.691	1.459	1.587	1.365	0.818	0.927	0.777	0.908	0.903	0.716	0.918	0.008	0.023	0.112
Mn	0.000	0.060	0.053	0.082	0.056	0.077	0.081	0.034	0.030	0.047	0.037	0.034	0.024	0.035	0.000	0.000	0.000
C (5)	5.000	5.000	4.737	3.836	4.033	3.958	3.841	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Fe2+	1.842	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.335	0.339	0.198
Mn	0.024	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	0.076	1.970	1.720	3.698	3.693	3.717	3.715	1.863	1.881	1.860	1.973	1.918	1.868	1.921	1.700	1.681	1.779
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.058	0.031	0.033	0.000	0.000	0.000	0.000	0.076	0.077	0.087	0.089	0.067	0.061	0.081	0.000	0.000	0.010
B (2)	2.000	2.000	1.753	3.698	3.693	3.717	3.715	1.938	1.958	1.947	2.000	1.986	1.929	2.000	2.054	2.031	2.000
Na	0.299	0.016	0.000	0.014	0.014	0.018	0.016	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.002	0.147	0.152	0.140
K	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.008	0.014	0.011	0.000	0.009	0.010	0.014	0.005	0.005
A (0-1)	0.299	0.016	0.000	0.014	0.014	0.018	0.016	0.007	0.008	0.014	0.011	0.000	0.009	0.010	0.161	0.157	0.145
(Ca+Na)-B	0.134	2.000	1.753	3.698	3.693	3.717	3.715	1.938	1.958	1.947	2.000	1.986	1.929	2.000	1.700	1.681	1.789

ANEXO 14 - TABELA 01 - CONTINUAÇÃO

ANÓSTRAS	214	217	218	221	224	237	239	240	241	242	246	247	248	251	252	255	256
SiO ₂	57.74	56.97	54.02	42.12	55.27	56.42	53.87	55.22	54.84	52.63	52.98	53.00	53.50	56.27	56.03	58.72	58.86
TiO ₂	0.57	0.05	0.12	0.02	0.08	0.07	0.09	0.07	0.10	0.17	0.06	0.02	0.12	0.11	0.09	0.00	0.03
Al ₂ O ₃	1.09	1.02	2.93	9.10	1.69	0.24	2.26	1.69	1.49	2.99	3.39	2.99	2.62	5.45	1.42	0.00	0.03
Cr ₂ O ₃	0.00	0.05	0.13	0.24	0.07	0.04	0.17	0.15	0.19	0.24	0.33	0.23	0.22	0.25	0.25	0.04	0.04
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	2.93	4.69	5.75	6.83	5.45	4.79	8.11	0.30	7.64	9.38	9.51	8.85	10.44	9.82	2.16	0.66	0.20
HgO	23.67	22.02	21.13	26.00	21.88	22.52	19.89	19.97	20.23	19.45	19.31	19.27	18.89	20.09	19.37	23.20	22.93
MnO	0.17	0.13	0.10	0.14	0.10	0.17	0.17	0.12	0.14	0.14	0.17	0.10	0.32	0.09	0.17	0.12	0.16
CaO	12.22	12.11	11.53	5.29	11.90	12.36	11.47	11.49	11.49	10.35	10.79	11.13	9.90	9.27	11.41	12.91	12.58
Li ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.41	0.43	0.95	0.29	0.49	0.12	0.66	0.40	0.51	0.87	0.95	0.86	0.79	0.67	0.42	0.06	0.02
K ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	98.41	97.47	96.67	90.02	96.93	96.73	96.70	98.20	96.63	96.22	97.49	96.46	96.88	96.02	98.06	97.28	97.54
Si	7.858	7.888	7.612	6.409	7.741	7.888	7.668	7.632	7.778	7.567	7.531	7.592	7.658	7.251	7.760	8.018	8.016
Ti	0.010	0.005	0.013	0.002	0.009	0.008	0.010	0.008	0.011	0.018	0.007	0.002	0.012	0.012	0.009	0.000	0.003
Al	0.175	0.166	0.407	1.631	0.278	0.040	0.380	0.276	0.249	0.507	0.568	0.505	0.442	0.927	0.232	0.013	0.005
Cr	0.000	0.005	0.014	0.029	0.008	0.004	0.019	0.017	0.022	0.028	0.037	0.027	0.025	0.028	0.028	0.004	0.004
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ²⁺	0.334	0.544	0.678	0.869	0.638	0.560	0.966	0.444	0.906	1.127	1.130	1.061	1.250	1.185	0.250	0.075	0.023
Hg	4.001	4.544	4.438	5.096	4.568	4.693	4.220	4.114	4.277	4.168	4.091	4.114	4.030	4.320	3.999	4.722	4.655
Mn	0.019	0.016	0.013	0.018	0.012	0.020	0.020	0.014	0.017	0.018	0.020	0.013	0.039	0.011	0.020	0.013	0.018
Ca	1.702	1.797	1.741	0.863	1.786	1.852	1.749	1.701	1.746	1.594	1.643	1.708	1.531	1.433	1.693	1.889	1.836
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.109	0.115	0.260	0.084	0.132	0.032	0.103	0.129	0.139	0.243	0.263	0.239	0.219	0.186	0.113	0.015	0.006
K	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
TOTAL	15.097	15.079	15.254	15.001	15.173	15.097	15.215	14.831	15.145	15.269	15.291	15.260	15.206	15.352	14.806	14.904	14.841
TOTAL ~	13.204	13.168	13.254	14.854	13.255	13.214	13.202	13.000	13.260	13.432	13.385	13.313	13.456	13.733	13.000	13.000	13.000
Hg/(Hg+Fe ²⁺)	0.935	0.893	0.868	0.872	0.877	0.893	0.814	0.990	0.825	0.787	0.784	0.795	0.763	0.785	0.941	0.904	0.995
Si	7.858	7.888	7.612	6.409	7.741	7.888	7.668	7.632	7.778	7.567	7.531	7.592	7.658	7.251	7.760	8.018	8.016
Al	0.142	0.112	0.388	1.591	0.259	0.040	0.332	0.276	0.222	0.433	0.469	0.408	0.342	0.749	0.232	0.000	0.000
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T (B)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.941	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.018	8.016
Al	0.032	0.054	0.099	0.040	0.020	0.000	0.047	0.000	0.028	0.074	0.099	0.097	0.100	0.178	0.000	0.013	0.005
Cr	0.000	0.005	0.014	0.029	0.008	0.000	0.019	0.000	0.022	0.028	0.037	0.027	0.025	0.028	0.028	0.004	0.004
Ti	0.010	0.005	0.013	0.002	0.009	0.000	0.010	0.008	0.011	0.018	0.007	0.002	0.012	0.012	0.009	0.000	0.003
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Hg	4.001	4.544	4.438	4.929	4.568	4.693	4.220	4.114	4.277	4.168	4.091	4.114	4.030	4.320	3.999	4.722	4.655
Fe ²⁺	0.149	0.392	0.436	0.000	0.395	0.307	0.704	0.044	0.663	0.713	0.766	0.761	0.833	0.462	0.250	0.075	0.023
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.014	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.020	0.013	0.018
C (S)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.982	4.984
Fe ²⁺	0.185	0.152	0.242	0.869	0.243	0.254	0.262	0.000	0.242	0.415	0.365	0.300	0.417	0.722	0.000	0.000	0.000
Mn	0.019	0.016	0.013	0.018	0.012	0.020	0.020	0.000	0.017	0.018	0.020	0.013	0.039	0.011	0.000	0.000	0.000
Hg	0.000	0.000	0.000	0.967	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.702	1.797	1.741	0.863	1.786	1.852	1.749	1.701	1.746	1.594	1.643	1.708	1.531	1.433	1.693	1.889	1.836
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.014	0.036	0.005	0.000	0.000	0.000	0.000	0.129	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.113	0.015	0.006
B (2)	2.000	2.000	2.000	2.717	2.000	2.125	2.031	1.831	2.006	2.027	2.028	2.021	2.000	2.166	1.806	1.904	1.841
Na	0.095	0.079	0.254	0.084	0.132	0.032	0.103	0.000	0.139	0.243	0.263	0.239	0.206	0.186	0.000	0.000	0.000
K	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
A (0-1)	0.097	0.079	0.254	0.084	0.132	0.032	0.103	0.000	0.139	0.243	0.263	0.239	0.206	0.186	0.000	0.000	0.000
(Ca+Na)-B	1.796	1.832	1.746	0.863	1.786	1.852	1.749	1.831	1.746	1.594	1.643	1.708	1.544	1.433	1.806	1.904	1.841

ANEXO 14 - TABELA 01 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE AMFIBÓLITOS CALCULADAS NA BASE DE 23 ÁTOMOS DE OXIGÊNIO CONSIDERANDO:

1- TODO O FERRO CALCULADO COMO Fe^{2+} 2- PARTICIPAÇÃO EM Fe^{2+} E Fe^{3+} , SEGUNDO LEAKE 1978

AMOSTRAS	259	267	273	279	281	283	286	287	290	291	292	298	302	306	307	308	309
SiO ₂	57.85	57.44	57.51	58.02	59.21	55.79	45.76	45.07	45.83	43.93	45.17	46.33	52.08	50.99	50.97	45.15	46.37
TiO ₂	0.06	0.13	0.03	0.12	0.03	0.00	0.90	0.60	0.17	0.65	0.77	0.63	0.00	0.00	0.10	0.48	0.27
Al ₂ O ₃	0.67	0.65	0.96	0.46	0.05	0.57	10.76	12.23	11.34	13.05	11.46	10.32	3.70	1.57	2.14	0.10	7.26
Cr ₂ O ₃	0.12	0.00	0.08	0.04	0.04	0.12	0.05	0.09	0.04	0.00	0.07	0.02	0.02	0.05	0.00	0.00	0.00
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.53	3.79	4.11	4.49	3.90	2.61	3.62	1.03	2.30	2.85	3.25
FeO	2.38	2.13	2.36	2.05	1.84	2.08	13.31	13.54	12.99	13.29	13.16	13.51	11.78	13.29	14.12	17.86	16.70
MgO	23.29	23.40	23.47	23.25	23.54	23.59	9.85	9.35	9.98	9.00	9.04	10.31	13.56	13.52	12.65	0.52	9.16
MnO	0.14	0.08	0.09	0.19	0.17	0.17	0.54	0.45	0.33	0.25	0.49	0.41	0.41	0.22	0.17	0.10	0.22
CaO	12.41	12.39	12.22	12.53	12.86	12.59	11.46	11.81	11.77	11.63	11.69	11.00	12.13	12.05	11.93	11.79	11.73
Li ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	0.16	0.20	0.27	0.16	0.02	0.20	1.12	0.98	1.01	1.22	1.22	0.91	0.30	0.23	0.29	1.32	1.04
K ₂ O	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01	0.41	0.46	0.39	0.44	0.38	0.42	0.00	0.02	0.00	0.09	0.04
TOTAL	97.09	96.49	97.00	96.80	97.75	95.11	97.70	98.36	97.95	98.02	98.14	97.27	97.60	92.96	94.67	96.26	96.04
Si	7.949	7.935	7.909	7.983	8.051	7.850	6.754	6.620	6.735	6.487	6.648	6.847	7.557	7.789	7.695	6.911	7.060
Ti	0.006	0.013	0.003	0.012	0.003	0.000	0.100	0.066	0.019	0.042	0.085	0.070	0.000	0.000	0.012	0.056	0.031
Al	0.109	0.106	0.155	0.074	0.009	0.094	1.871	2.110	1.965	2.271	1.988	1.798	0.634	0.283	0.380	1.462	1.303
Cr	0.013	0.000	0.008	0.004	0.004	0.013	0.006	0.010	0.004	0.000	0.008	0.002	0.003	0.006	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.392	0.419	0.454	0.499	0.432	0.290	0.395	0.118	0.262	0.329	0.372
Fe ²⁺	0.273	0.246	0.271	0.236	0.209	0.245	1.643	1.664	1.596	1.641	1.620	1.670	1.429	1.697	1.783	2.287	2.126
Mg	4.770	4.818	4.811	4.768	4.771	4.948	2.166	2.042	2.105	1.998	2.158	2.271	2.933	3.078	2.847	1.943	2.079
Mn	0.016	0.009	0.010	0.022	0.020	0.020	0.068	0.056	0.041	0.031	0.061	0.052	0.051	0.029	0.022	0.013	0.028
Ca	1.827	1.834	1.801	1.847	1.874	1.898	1.812	1.859	1.853	1.840	1.843	1.869	1.886	1.972	1.930	1.934	1.914
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.042	0.075	0.072	0.042	0.005	0.054	0.321	0.278	0.288	0.348	0.340	0.260	0.084	0.067	0.065	0.392	0.308
K	0.004	0.000	0.004	0.000	0.000	0.001	0.078	0.086	0.074	0.083	0.072	0.079	0.000	0.004	0.000	0.017	0.008
TOTAL	15.000	15.036	15.044	14.987	14.943	15.124	15.211	15.223	15.215	15.272	15.263	15.200	14.970	15.043	15.015	15.342	15.229
TOTAL - Mg/(Mg+Fe ²⁺)	0.946	0.952	0.947	0.953	0.958	0.953	0.569	0.552	0.570	0.549	0.571	0.576	0.672	0.645	0.615	0.459	0.494
Si	7.949	7.935	7.909	7.983	8.051	7.850	6.754	6.620	6.735	6.487	6.648	6.847	7.557	7.789	7.695	6.911	7.060
Al	0.052	0.065	0.091	0.017	0.000	0.094	1.246	1.380	1.265	1.513	1.352	1.153	0.443	0.211	0.305	1.089	0.940
Cr	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.013	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
T (8)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.051	7.957	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000	8.000
Al	0.057	0.041	0.064	0.057	0.000	0.000	0.625	0.738	0.700	0.758	0.636	0.645	0.190	0.072	0.075	0.373	0.364
Cr	0.013	0.000	0.008	0.004	0.004	0.000	0.006	0.010	0.004	0.000	0.008	0.002	0.003	0.006	0.000	0.000	0.000
Ti	0.006	0.013	0.003	0.012	0.003	0.000	0.100	0.066	0.019	0.072	0.085	0.070	0.000	0.000	0.012	0.056	0.031
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.392	0.419	0.454	0.499	0.432	0.290	0.395	0.118	0.262	0.329	0.372
Mg	4.770	4.818	4.811	4.768	4.771	4.948	2.166	2.042	2.105	1.998	2.158	2.271	2.933	3.078	2.847	1.943	2.079
Fe ²⁺	0.155	0.128	0.114	0.160	0.209	0.052	1.643	1.664	1.596	1.641	1.620	1.670	1.429	1.697	1.783	2.287	2.126
Mn	0.000	0.000	0.000	0.000	0.006	0.000	0.068	0.056	0.041	0.031	0.061	0.052	0.051	0.029	0.022	0.013	0.028
C (5)	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000
Fe ²⁺	0.119	0.118	0.158	0.076	0.000	0.193	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.016	0.009	0.010	0.022	0.014	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ca	1.827	1.834	1.801	1.847	1.874	1.898	1.812	1.859	1.853	1.840	1.843	1.869	1.886	1.972	1.930	1.934	1.914
Li	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Na	0.038	0.039	0.032	0.042	0.005	0.000	0.188	0.141	0.147	0.160	0.157	0.132	0.004	0.020	0.070	0.066	0.086
B (2)	2.000	2.000	2.000	1.907	1.892	2.111	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.970	2.000	2.000	2.000	2.000
Na	0.004	0.036	0.041	0.000	0.000	0.054	0.133	0.137	0.142	0.189	0.191	0.129	0.000	0.039	0.015	0.325	0.221
K	0.004	0.000	0.004	0.000	0.000	0.001	0.078	0.086	0.074	0.083	0.072	0.079	0.000	0.004	0.000	0.017	0.008
A (0-1)	0.008	0.036	0.044	0.000	0.000	0.055	0.211	0.223	0.215	0.272	0.263	0.200	0.000	0.043	0.015	0.342	0.229
(Ca+Na)-B	1.865	1.873	1.832	1.889	1.878	1.898	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	1.970	2.000	2.000	2.000	2.000

AMOSTRAS	356	360	379
SiO ₂	46.06	45.24	54.68
TiO ₂	0.42	0.33	0.00
Al ₂ O ₃	13.18	13.97	0.73
Cr ₂ O ₃	0.80	1.08	0.00
Fe ₂ O ₃	9.38	10.34	1.82
FeO	2.04	0.88	10.85
MgO	13.43	13.47	15.71
MnO	0.15	0.11	0.26
CaO	10.50	10.50	12.06
Li ₂ O	0.00	0.00	0.00
Na ₂ O	1.10	1.09	0.23
K ₂ O	0.07	0.06	0.00
TOTAL	97.13	97.07	96.33
Si	6.547	6.428	7.932
Ti	0.045	0.036	0.000
Al	2.208	2.339	0.125
Cr	0.090	0.121	0.000
Fe ³⁺	1.004	1.105	0.199
Fe ²⁺	0.242	0.104	1.316
Mg	2.845	2.853	3.397
Mn	0.018	0.014	0.031
Ca	1.599	1.598	1.874
Li	0.000	0.000	0.000
Na	0.303	0.300	0.064
K	0.012	0.010	0.000
TOTAL	14.914	14.909	14.938
TOTAL -	13.000	13.000	13.000
Mg/(Mg+Fe ₂)	0.922	0.965	0.721
Si	6.547	6.428	7.932
Al	1.453	1.572	0.068
Cr	0.000	0.000	0.000
Fe ³⁺	0.000	0.000	0.000
Ti	0.000	0.000	0.000
T (8)	8.000	8.000	8.000
Al	0.755	0.767	0.057
Cr	0.090	0.121	0.000
Ti	0.045	0.036	0.000
Fe ³⁺	1.004	1.105	0.199
Mg	2.845	2.853	3.397
Fe ²⁺	0.242	0.104	1.316
Mn	0.018	0.014	0.031
C (5)	5.000	5.000	5.000
Fe ²⁺	0.000	0.000	0.000
Mn	0.000	0.000	0.000
Mg	0.000	0.000	0.000
Ca	1.599	1.598	1.874
Li	0.000	0.000	0.000
Na	0.303	0.300	0.064
B (2)	1.902	1.898	1.938
Na	0.000	0.000	0.000
K	0.012	0.010	0.000
A (0-1)	0.012	0.010	0.000
(Ca+Na)-B	1.902	1.898	1.938

ANEXO 14 TABELA 02 COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE SERPENTINAS EM DIFERENTES TIPOS LITOLÓGICOS DE SEQUÊNCIA
VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINOPLIS (MG) EXPRESSOS EM PORCENTAGENS EM PESO DOS OXI-
DOS E NÚMERO CATIONICO CALCULADO NA BASE DE 7 ÁTOMOS DE OXIGÊNIO (44 ANÁLISES)

ANÁLISE	3	5	14	15	18	28	63	74	75	76	77	78	79	80	194
ISI02	42.09	42.64	42.69	42.38	40.75	41.13	43.67	43.96	44.16	44.58	44.73	44.04	44.04	43.54	43.99
IK20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
INA20	0.00	0.02	0.06	0.04	0.01	0.01	0.01	0.02	0.03	0.04	0.02	0.03	0.07	0.02	0.06
ICR203	0.00	0.00	0.02	0.00	0.11	0.05	0.05	0.00	0.00	0.04	0.07	0.06	0.30	0.00	0.00
IFED	8.72	8.55	8.65	8.42	9.40	7.64	3.53	3.27	3.72	3.35	3.79	3.22	3.32	3.22	3.46
IAL203	0.94	0.97	0.74	0.79	3.24	1.16	0.31	0.34	0.43	0.14	0.10	0.18	0.55	0.20	0.17
ING0	32.65	33.59	33.69	34.16	32.21	33.49	37.76	37.97	37.24	38.40	38.13	37.99	38.05	38.27	38.08
INHO	0.08	0.08	0.09	0.04	0.14	0.06	0.11	0.07	0.19	0.14	0.18	0.15	0.15	0.10	0.17
ITI02	0.02	0.06	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.06	0.05	0.06	0.01	0.00	0.11	0.06	0.06
IBAO	0.00	0.00	0.03	0.00	0.05	0.18	0.10	0.10	0.05	0.10	0.00	0.23	0.03	0.00	0.08
ICAO	0.00	0.01	0.02	0.03	0.02	0.00	0.04	0.03	0.25	0.02	0.01	0.01	0.17	0.02	0.16
ITOTAL	84.58	85.92	85.99	85.89	85.93	83.72	85.58	85.82	86.13	86.89	87.04	85.91	86.79	85.43	86.23
ISI	2.076	2.068	2.071	2.057	1.990	2.045	2.075	2.078	2.086	2.083	2.089	2.083	2.063	2.068	2.075
IK	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
INA	0.008	0.002	0.006	0.004	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.004	0.002	0.003	0.007	0.002	0.006
ICR	0.001	0.001	0.001	0.001	0.005	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.012	0.001	0.001
IFE2+	0.347	0.317	0.351	0.342	0.384	0.318	0.141	0.130	0.147	0.131	0.140	0.128	0.131	0.128	0.137
IAL	0.855	0.856	0.843	0.846	0.187	0.868	0.818	0.819	0.824	0.808	0.806	0.811	0.831	0.812	0.810
ING	2.400	2.428	2.436	2.471	2.344	2.482	2.674	2.676	2.621	2.675	2.654	2.678	2.657	2.710	2.677
INHO2+	0.004	0.004	0.004	0.002	0.006	0.003	0.005	0.003	0.008	0.006	0.008	0.007	0.006	0.005	0.007
ITI	0.001	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.003	0.001	0.001	0.004	0.003	0.003
IBA	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.001	0.002	0.001	0.005	0.001	0.001	0.002
ICA	0.001	0.001	0.002	0.002	0.002	0.001	0.003	0.002	0.013	0.002	0.001	0.001	0.009	0.002	0.009
ITOTAL	4.901	4.905	4.911	4.922	4.916	4.921	4.917	4.912	4.903	4.913	4.909	4.913	4.916	4.926	4.922

ANEXO 14 - TABELA 02 - CONTINUAÇÃO

ANÁLISE	195	199	201	204	206	208	209	213	215	227	228	230	231	233	234
ISI02	43.74	47.19	44.18	44.94	43.11	44.26	43.04	44.06	43.71	43.13	43.21	43.62	42.93	43.43	43.58
IK20	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
INA20	0.08	0.18	0.03	0.03	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.05	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00
ICR203	0.00	0.09	0.00	0.00	0.03	0.08	0.06	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
IFED	3.72	3.97	4.06	3.75	4.02	4.17	4.45	4.46	4.43	6.45	6.50	7.64	7.30	6.37	7.99
IAL203	0.45	1.96	1.29	0.28	0.57	0.80	1.47	0.95	0.65	0.13	0.02	0.13	0.13	0.07	0.13
ING0	38.32	31.77	36.66	38.09	38.76	38.21	37.69	38.34	38.41	36.85	37.26	36.40	36.65	36.46	36.10
INHO	0.20	0.24	0.19	0.15	0.17	0.12	0.12	0.16	0.09	0.16	0.12	0.13	0.18	0.17	0.22
ITI02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.00	0.04	0.00	0.14	0.01	0.04	0.00	0.08	0.05	0.00
IBAO	0.00	0.15	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.13	0.00	0.20	0.13	0.00	0.05
ICAO	0.03	4.38	0.65	0.03	0.03	0.01	0.13	0.08	0.09	0.02	0.01	0.08	0.02	0.03	0.02
ITOTAL	86.55	89.94	87.07	87.29	86.70	87.67	87.01	88.11	87.52	86.94	87.19	88.21	87.43	86.63	88.09
ISI	2.058	2.149	2.068	2.091	2.031	2.058	2.023	2.044	2.042	2.053	2.049	2.058	2.042	2.069	2.060
IK	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
INA	0.008	0.016	0.003	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.005	0.003	0.001	0.001	0.003	0.001
ICR	0.001	0.004	0.001	0.001	0.002	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
IFE2+	0.147	0.152	0.159	0.146	0.159	0.163	0.175	0.173	0.173	0.257	0.258	0.302	0.291	0.254	0.316
IAL	0.825	0.106	0.072	0.016	0.032	0.044	0.082	0.052	0.036	0.008	0.002	0.008	0.008	0.004	0.008
ING	2.688	2.156	2.558	2.641	2.722	2.648	2.640	2.651	2.674	2.614	2.634	2.560	2.599	2.589	2.544
INHO2+	0.008	0.010	0.008	0.006	0.007	0.005	0.005	0.007	0.004	0.007	0.005	0.006	0.008	0.007	0.009
ITI	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.005	0.001	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001
IBA	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001	0.004	0.003	0.001	0.001
ICA	0.002	0.214	0.033	0.002	0.002	0.001	0.007	0.004	0.005	0.002	0.001	0.005	0.002	0.002	0.002
ITOTAL	4.934	4.806	4.899	4.903	4.953	4.921	4.935	4.931	4.937	4.946	4.951	4.940	4.952	4.929	4.937

ANEXO 14 - TABELA 02 - CONTINUAÇÃO

ANÁLISE	235	254	258	260	261	265	266	268	269	274	277	278	282	285
ISI02	42.85	41.83	41.21	42.15	40.96	44.30	43.08	44.69	42.24	43.87	37.60	43.42	44.16	43.85
IK20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
INA20	0.05	0.03	0.06	0.06	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01
ICR203	0.00	0.61	0.70	0.40	0.63	0.04	0.02	0.19	0.64	0.06	0.93	0.43	0.03	0.01
IFED	8.07	4.23	4.99	4.56	4.70	4.67	5.04	4.17	4.74	4.41	4.79	4.02	4.95	3.94
IAL203	0.19	3.50	2.36	2.51	3.68	0.35	0.50	0.82	3.50	0.82	6.48	2.59	0.90	0.28
ING0	35.19	35.85	33.55	36.09	35.83	37.25	36.61	36.92	36.80	37.06	33.40	36.69	37.19	38.05
INR0	0.26	0.05	0.16	0.09	0.07	0.26	0.18	0.16	0.02	0.16	0.08	0.09	0.17	0.10
ITI02	0.00	0.02	0.04	0.00	0.07	0.02	0.03	0.13	0.09	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00
IBAO	0.00	0.03	0.05	0.26	0.16	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21
ICAO	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.06	0.03	0.05	0.21	0.02	0.04
ITOTAL	86.61	86.15	83.17	86.12	86.13	86.89	85.55	87.10	88.10	86.41	83.33	87.50	87.42	86.49
ISI	2.062	1.984	2.033	2.007	1.954	2.082	2.065	2.087	1.966	2.070	1.858	2.022	2.066	2.068
IK	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
INA	0.005	0.003	0.006	0.006	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
ICR	0.001	0.023	0.028	0.016	0.024	0.002	0.001	0.008	0.024	0.003	0.037	0.016	0.002	0.001
IFE2+	0.325	0.168	0.206	0.182	0.188	0.184	0.202	0.163	0.185	0.175	0.198	0.157	0.194	0.156
IAL	0.011	0.196	0.138	0.141	0.207	0.020	0.029	0.046	0.192	0.046	0.378	0.143	0.050	0.016
ING	2.524	2.534	2.467	2.561	2.548	2.610	2.615	2.570	2.552	2.607	2.460	2.547	2.593	2.675
INR2+	0.011	0.003	0.007	0.004	0.003	0.011	0.008	0.007	0.001	0.007	0.004	0.004	0.007	0.004
ITI	0.001	0.001	0.002	0.001	0.003	0.001	0.002	0.005	0.004	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001
IBA	0.001	0.001	0.001	0.005	0.003	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004
ICA	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.003	0.002	0.003	0.011	0.002	0.003
ITOTAL	4.936	4.909	4.887	4.919	4.930	4.907	4.921	4.883	4.925	4.907	4.936	4.899	4.910	4.925

ANEXO 14 - TABELA 03 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE FELDSPATOS EM DIFERENTES LITOLOGIAS DA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINOPOLES (MG) EXPRESSOS EM PORCENTAGEM EM PESO E NÚMERO CATIONICO CALCULADOS NA BASE DE 8 ÁTOMOS DE OXIGÊNIO (57 ANÁLISES)

ANÁLISES	31	32	38	43	47	49	55							
SI/SIO2	57.43	2.563	57.17	2.536	57.46	2.574	55.49	2.510	55.23	2.510	56.05	2.545	57.05	2.568
AL/AL2O3	26.94	1.437	27.25	1.465	27.02	1.421	28.19	1.490	27.98	1.481	27.61	1.454	26.98	1.432
TI/TIO2	0.00	0.000	0.00	0.000	0.13	0.004	0.00	0.000	0.04	0.001	0.06	0.002	0.00	0.000
FE/FE2O3	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
T		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000
K/K2O	0.04	0.002	0.04	0.002	0.02	0.001	0.12	0.007	0.11	0.006	0.05	0.003	0.06	0.004
NA/NA2O	6.45	0.561	6.23	0.533	6.75	0.578	5.84	0.503	5.93	0.513	6.24	0.544	6.51	0.565
CA/CAO	9.03	0.434	9.79	0.463	8.76	0.415	10.20	0.485	9.93	0.474	9.41	0.453	8.98	0.431
FE/FEO	0.06	0.002	0.01	0.000	0.14	0.005	0.15	0.005	0.12	0.004	0.00	0.000	0.03	0.001
MN/MNO	0.01	0.000	0.03	0.001	0.05	0.002	0.00	0.000	0.01	0.000	0.02	0.001	0.00	0.000
MG/MGO	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.03	0.002	0.00	0.000	0.00	0.000
N		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000
TOTAL	99.95	5.000	100.51	5.000	100.32	5.000	99.99	5.000	99.37	5.000	99.44	5.000	99.62	5.000
COMPOSIÇÃO DE FELDSPATOS	OR 0.2 AB 56.1 AN 43.7	0.2 53.3 46.4	0.1 57.8 42.1	0.7 50.3 49	0.6 51.3 48.1	0.3 54.3 45.3	0.4 56.5 43.2							

ANÁLISES	61		81		82		83		84		85		88	
SI/SIO2	54.66	2.439	61.94	2.738	60.86	2.729	64.14	2.803	59.43	2.721	63.29	2.774	62.13	2.765
AL/AL2O3	29.33	1.559	24.17	1.260	24.33	1.271	23.00	1.197	20.97	1.279	23.50	1.225	23.62	1.235
TI/TIO2	0.05	0.002	0.07	0.002	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.04	0.001	0.00	0.000
FE/FE2O3	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
T		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000
K/K2O	0.08	0.004	0.11	0.006	0.09	0.005	0.07	0.004	0.35	0.017	0.05	0.003	0.04	0.002
NA/NA2O	5.04	0.437	8.76	0.734	8.50	0.724	9.60	0.799	9.37	0.704	9.11	0.772	9.17	0.763
CA/CAO	11.39	0.545	5.49	0.254	5.70	0.268	4.26	0.196	6.72	0.279	4.73	0.222	5.05	0.232
FE/FEO	0.31	0.011	0.16	0.006	0.08	0.003	0.02	0.001	0.00	0.000	0.04	0.002	0.08	0.003
MN/MNO	0.02	0.001	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.01	0.000	0.00	0.000
MG/MGO	0.02	0.002	0.01	0.001	0.00	0.000	0.00	0.000	0.01	0.000	0.02	0.001	0.00	0.000
N		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000
TOTAL	100.89	5.000	100.71	5.000	99.57	5.000	101.09	5.000	96.85	5.000	100.79	5.000	100.08	5.000
COMPOSIÇÃO DE FELDSPATOS	OR 0.4 AB 43.7 AN 55.9	0.6 73.4 26	0.5 72.4 27.1	0.4 79.9 19.7	1.7 70.3 27.9	0.3 77.2 22.5	0.2 76.3 23.5							

ANEXO 14 - TABELA 03 - CONTINUAÇÃO

ANÁLISES	89		97		98		102		103		114		115	
SI/SI02	63.34	2.816	63.64	2.824	63.92	2.821	63.94	2.813	62.42	2.769	51.52	2.381	55.98	2.526
AL/AL203	23.07	1.184	22.54	1.176	22.87	1.179	22.99	1.182	22.10	1.229	30.31	1.618	27.94	1.474
TI/TI02	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.05	0.001	0.03	0.001	0.00	0.000
FE/FE203	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
T		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000
K/K2O	0.06	0.003	0.07	0.004	0.05	0.003	0.05	0.003	0.66	0.034	0.18	0.011	0.02	0.001
NA/NA2O	9.69	0.813	10.01	0.820	9.96	0.819	9.81	0.816	9.34	0.736	4.16	0.371	5.97	0.525
CA/CAO	3.96	0.184	3.72	0.168	3.89	0.176	3.79	0.174	2.27	0.099	12.38	0.610	9.71	0.472
FE/FEO	0.00	0.000	0.19	0.007	0.03	0.001	0.13	0.005	1.74	0.059	0.21	0.008	0.04	0.002
MN/MNO	0.00	0.000	0.02	0.001	0.02	0.001	0.09	0.003	0.03	0.001	0.00	0.000	0.01	0.000
MG/MGO	0.00	0.000	0.01	0.001	0.01	0.000	0.00	0.000	1.16	0.070	0.01	0.001	0.00	0.000
M		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000
TOTAL	100.12	5.000	100.19	5.000	100.75	5.000	100.80	5.000	99.76	5.000	98.80	5.000	99.66	5.000
COMPOSIÇÃO	OR	0.3		0.4		0.3		0.3		3.4		1.1		0.1
DE	AB	81.3		82		81.9		81.6		73.6		37.1		52.5
FELDSPATOS	AN	18.4		17.6		17.9		18.2		22.9		61.8		47.4

ANÁLISES	116		121		123		357		143		146		147	
SI/SI02	56.32	2.571	52.94	2.427	56.48	2.540	54.82	2.467	59.84	2.694	60.24	2.712	60.61	2.709
AL/AL203	26.98	1.429	29.24	1.574	27.72	1.460	28.77	1.532	24.96	1.384	24.61	1.288	24.92	1.291
TI/TI02	0.02	0.001	0.00	0.000	0.00	0.000	0.03	0.001	0.07	0.003	0.00	0.000	0.00	0.000
FE/FE203	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
T		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000
K/K2O	0.06	0.003	0.05	0.003	0.05	0.003	0.05	0.003	0.04	0.002	0.05	0.003	0.07	0.004
NA/NA2O	6.56	0.568	4.80	0.424	6.17	0.537	5.38	0.465	8.03	0.694	8.34	0.709	8.31	0.705
CA/CAO	8.85	0.423	11.72	0.572	9.47	0.456	10.51	0.502	6.29	0.301	6.08	0.286	6.16	0.289
FE/FEO	0.09	0.003	0.03	0.001	0.11	0.004	0.32	0.012	0.06	0.002	0.04	0.001	0.08	0.003
MN/MNO	0.06	0.002	0.00	0.000	0.00	0.000	0.01	0.000	0.00	0.000	0.02	0.001	0.00	0.000
MG/MGO	0.00	0.000	0.01	0.001	0.00	0.000	0.26	0.017	0.01	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
M		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000
TOTAL	98.93	5.000	98.79	5.000	99.99	5.000	100.15	5.000	99.30	5.000	99.37	5.000	100.14	5.000
COMPOSIÇÃO	OR	0.3		0.3		0.3		0.3		0.2		0.3		0.4
DE	AB	56.8		42.4		53.7		46.5		69.4		70.9		70.5
FELDSPATOS	AN	42.9		57.4		46		53.2		30.3		28.8		29.1

ANEXO 14 - TABELA 03 - CONTINUAÇÃO

ANÁLISES		161		163		164		168		173		188		189	
SI/SI02		59.00	2.678	59.33	2.679	60.59	2.735	60.50	2.708	64.77	2.989	65.77	2.875	66.22	2.902
AL/AL203		25.26	1.322	25.35	1.321	24.39	1.265	24.24	1.292	18.81	1.011	21.64	1.125	21.05	1.096
TI/TI02		0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.05	0.002
FE/FE203		0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
T			4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000
K/K2O		0.04	0.003	0.05	0.003	0.08	0.004	0.21	0.012	13.87	0.824	0.14	0.008	0.23	0.013
NA/NA2O		7.73	0.676	7.73	0.676	8.75	0.731	7.98	0.696	1.83	0.166	9.80	0.867	10.51	0.891
CA/CAO		6.65	0.321	6.61	0.319	5.68	0.262	6.03	0.291	0.14	0.007	2.49	0.122	1.99	0.093
FE/FEO		0.00	0.000	0.06	0.002	0.08	0.003	0.03	0.001	0.09	0.004	0.04	0.002	0.01	0.000
MN/MNO		0.02	0.001	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.01	0.001	0.05	0.002	0.04	0.001
MG/MGO		0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.02	0.002
M			1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000
TOTAL		98.71	5.000	99.14	5.000	99.57	5.000	98.99	5.000	99.52	5.000	99.93	5.000	100.11	5.000
COMPOSIÇÃO	OR	0.2		0.3		0.4		1.2		82.4		0.8		1.3	
DE	AB	67.6		67.6		73.1		69.6		16.5		86.7		89.1	
FELDSPATOS	AN	32.2		32.1		26.5		29.2		1.1		12.5		9.6	

ANÁLISES		190		191		192		289		299		301		304	
SI/SI02		66.48	2.923	65.67	2.928	62.14	2.868	47.23	2.420	67.84	2.953	58.01	2.598	58.30	2.614
AL/AL2O3		20.46	1.076	20.70	1.070	22.04	1.132	21.38	1.578	20.38	1.045	26.56	1.397	26.60	1.385
TI/TI02		0.05	0.002	0.07	0.002	0.00	0.000	0.08	0.002	0.07	0.002	0.16	0.005	0.02	0.001
FE/FE2O3		0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
T			4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000		4.000
K/K2O		0.11	0.006	1.23	0.070	2.06	0.111	0.63	0.028	0.08	0.004	0.08	0.004	0.15	0.009
NA/NA2O		10.81	0.918	9.87	0.860	9.25	0.757	5.93	0.394	11.18	0.951	7.01	0.599	7.03	0.606
CA/CAO		1.50	0.071	1.21	0.058	2.51	0.114	2.10	0.077	0.85	0.040	8.27	0.390	7.99	0.381
FE/FEO		0.00	0.000	0.05	0.002	0.19	0.007	8.35	0.239	0.14	0.005	0.14	0.005	0.12	0.004
MN/MNO		0.02	0.001	0.00	0.000	0.00	0.000	0.21	0.006	0.00	0.000	0.04	0.002	0.00	0.000
MG/MGO		0.07	0.004	0.15	0.010	0.18	0.012	5.02	0.256	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
M			1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000		1.000
TOTAL		99.49	5.000	98.93	5.000	98.38	5.000	90.92	5.000	100.53	5.000	100.26	5.000	100.21	5.000
COMPOSIÇÃO		DR	0.6	7		11.1		2.8		0.4		0.4		0.9	
DE		AB	91.8	86		75.7		39.4		95.1		59.9		60.6	
FELDSPATOS		AN	7.6	7		13.2		57.8		4.5		39.7		38.5	

ANEXO 14 - TABELA 03 - CONTINUAÇÃO

ANÁLISES	361		362		369		370		371		373		374	
SI/SI02	50.79	2.382	56.22	2.477	53.59	2.435	50.77	2.438	55.67	2.385	57.39	2.532	61.32	2.698
AL/AL203	21.25	1.617	28.45	1.520	29.59	1.560	29.27	1.560	28.02	1.612	26.28	1.466	19.87	1.303
TI/TI02	0.02	0.001	0.10	0.003	0.13	0.004	0.06	0.002	0.07	0.002	0.07	0.003	0.00	0.000
FE/FE203	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
T	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
K/K2O	0.06	0.003	0.58	0.033	0.23	0.013	0.21	0.012	0.22	0.013	2.39	0.144	0.38	0.020
NA/NA2O	5.30	0.380	5.14	0.447	5.01	0.427	4.98	0.428	4.17	0.375	4.27	0.390	8.33	0.677
CA/CAO	2.25	0.089	10.08	0.404	11.11	0.523	11.07	0.526	11.68	0.580	8.23	0.416	1.30	0.058
FE/FE0	4.94	0.153	0.56	0.021	0.64	0.024	0.54	0.020	0.54	0.021	0.00	0.032	2.42	0.005
HM/HMO	0.08	0.003	0.00	0.000	0.05	0.002	0.00	0.000	0.05	0.002	0.04	0.002	0.02	0.001
H6/H6O	6.76	0.373	0.22	0.015	0.19	0.012	0.22	0.015	0.14	0.010	0.24	0.017	2.54	0.159
H	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
TOTAL	91.44	5.000	101.35	5.000	100.54	5.000	97.12	5.000	100.56	5.000	99.71	5.000	96.17	5.000
COMPOSIÇÃO DE FELDSPATOS	OR 0.3	3.3	1.3	1.2	1.3	14.4	2							
	AB 38	44.7	42.7	42.8	37.5	39	67.7							
	AN 61.7	52	56	56	61.2	46.6	30.3							

ANÁLISES	375		337		339		340		343		344		345		346	
SI/SI02	52.54	2.384	68.26	2.972	67.91	2.971	69.19	2.973	68.38	2.971	67.61	2.959	69.05	2.972	68.54	2.979
AL/AL203	29.85	1.614	20.40	1.026	20.37	1.028	20.17	1.027	20.24	1.029	20.30	1.041	20.20	1.027	20.26	1.019
TI/TI02	0.07	0.002	0.05	0.002	0.03	0.001	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.04	0.001	0.05	0.002
FE/FE203	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000
T	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000	4.000
K/K2O	0.14	0.008	0.04	0.002	0.04	0.003	0.07	0.004	0.10	0.005	0.07	0.004	0.08	0.004	0.04	0.002
NA/NA2O	4.30	0.378	11.70	0.971	11.42	0.970	11.45	0.969	12.06	0.966	11.75	0.955	11.85	0.949	11.77	0.979
CA/CAO	12.14	0.589	0.50	0.023	0.43	0.020	0.43	0.020	0.43	0.019	0.56	0.025	0.53	0.024	0.40	0.018
FE/FE0	0.30	0.012	0.09	0.003	0.22	0.008	0.13	0.005	0.28	0.010	0.42	0.015	0.08	0.003	0.01	0.000
HM/HMO	0.01	0.000	0.00	0.000	0.00	0.000	0.05	0.002	0.02	0.001	0.00	0.000	0.00	0.000	0.02	0.001
H6/H6O	0.18	0.012	0.00	0.000	0.00	0.000	0.01	0.001	0.00	0.000	0.02	0.001	0.01	0.000	0.00	0.000
H	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
TOTAL	99.54	5.000	101.05	5.000	100.41	5.000	101.48	5.000	101.51	5.000	100.73	5.000	101.84	5.000	101.09	5.000
COMPOSIÇÃO DE FELDSPATOS	OR	0.8	0.2	0.2	0.2	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.2	
	AB	37.8	97.1	97	97	96.9	96.6	95.5	96.9	97.9						
	AN	61.4	2.6	2.8	2.8	2.7	2.9	4.1	2.7	1.9						

ANEXO 14 - TABELA 04 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE CLORITAS EM DIFERENTES TIPOS LITOLÓGICOS, EXPRESSOS EM PORCENTAGEM EM PESO DOS ÓXIDOS E NÚMEROS CATIONICO CALCULADOS NA BASE DE 28 ÁTOMOS DE OXIGÊNIO (36 ANÁLISES)

ANÁLISE	16	17	21	22	39	90	95	40	86	99	105	196	197	200	203	207	210	211	216
ISI02	28.53	28.71	28.19	29.58	26.67	25.86	26.56	25.02	25.94	28.05	24.55	32.33	31.70	30.82	31.92	31.75	31.84	31.38	32.12
IK20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.01	0.14	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
INA20	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.04	0.03	0.01	0.06	0.06	0.04	0.04	0.07	0.06	0.00	0.02	0.08	0.03	0.03
ICR203	0.32	0.35	0.30	0.30	0.78	0.28	0.31	0.62	0.29	0.39	0.32	0.38	0.63	0.67	0.79	1.03	0.61	0.85	0.83
IFED	6.73	7.22	7.00	6.85	21.67	21.26	21.92	18.64	21.16	19.40	21.12	4.49	4.69	4.61	4.47	4.71	4.63	4.68	4.50
IAL203	20.21	20.10	20.05	19.80	21.17	22.45	21.94	22.01	22.39	18.20	22.88	15.28	16.18	16.85	15.65	16.40	15.04	15.91	15.51
ING0	27.74	27.60	27.33	27.43	16.38	17.59	16.00	19.00	16.61	15.60	17.25	32.52	31.75	31.89	33.06	32.26	31.88	32.42	33.31
INW0	0.01	0.06	0.02	0.05	0.12	0.16	0.22	0.09	0.19	0.28	0.16	0.00	0.07	0.07	0.02	0.03	0.05	0.10	0.02
ITI02	0.06	0.00	0.00	0.04	0.13	0.15	0.09	0.12	0.04	3.07	0.02	0.07	0.08	0.06	0.10	0.09	0.00	0.11	0.17
IBAO	0.00	0.00	0.15	0.00	0.00	0.05	0.22	0.00	0.20	0.10	0.00	0.00	0.15	0.08	0.30	0.18	0.15	0.18	0.00
ICAO	0.00	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.01	2.96	0.01	0.03	0.03	0.03	0.01	0.00	0.03	0.00	0.00
ITOTAL	83.61	84.06	83.09	84.06	86.96	87.85	87.71	85.52	86.90	88.25	86.35	85.14	85.36	85.14	86.32	86.47	84.36	85.66	86.49
ISI	5.696	5.717	5.683	5.864	5.550	5.318	5.499	5.234	5.395	5.757	5.149	6.264	6.150	5.998	6.132	6.090	6.251	6.082	6.145
IK	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001	0.003	0.037	0.001	0.001	0.003	0.001	0.001	0.001	0.013	0.001	0.001
INA	0.004	0.004	0.012	0.001	0.005	0.016	0.013	0.005	0.025	0.024	0.017	0.016	0.027	0.023	0.001	0.008	0.031	0.012	0.012
ICR	0.051	0.056	0.048	0.048	0.129	0.046	0.051	0.103	0.040	0.064	0.054	0.059	0.097	0.104	0.120	0.157	0.095	0.131	0.126
IFE2+	1.124	1.203	1.181	1.136	3.771	3.656	3.796	3.261	3.681	3.330	3.705	0.728	0.761	0.751	0.719	0.756	0.761	0.759	0.720
IAL	4.756	4.718	4.764	4.626	5.192	5.441	5.354	5.426	5.488	4.403	5.655	3.489	3.700	3.865	3.544	3.708	3.480	3.634	3.498
ING	8.255	8.192	8.212	8.105	5.081	5.392	4.963	5.924	5.149	4.773	5.393	9.391	9.181	9.251	9.467	9.223	9.329	9.365	9.499
INW2+	0.002	0.011	0.004	0.009	0.022	0.028	0.039	0.016	0.034	0.049	0.029	0.001	0.012	0.012	0.004	0.005	0.009	0.017	0.004
ITI	0.010	0.001	0.001	0.006	0.021	0.024	0.015	0.019	0.007	0.474	0.004	0.011	0.012	0.009	0.015	0.013	0.001	0.017	0.025
IBA	0.001	0.001	0.012	0.001	0.001	0.005	0.018	0.001	0.017	0.009	0.001	0.001	0.012	0.007	0.023	0.014	0.012	0.014	0.001
ICA	0.001	0.003	0.005	0.003	0.007	0.003	0.007	0.003	0.003	0.651	0.003	0.007	0.007	0.007	0.003	0.001	0.007	0.001	0.001
ITOTAL	19.895	19.900	19.918	19.794	19.773	19.925	19.832	19.987	19.845	19.567	20.003	19.961	19.956	20.022	20.022	19.970	19.984	20.027	20.025

ANEXO 14 - TABELA 04 - CONTINUAÇÃO

ANÁLISE	219	220	222	223	238	243	248	249	253	257	262	263	264	275	372	376	381
ISI02	30.74	30.91	31.32	30.81	31.34	28.28	29.21	28.64	32.49	32.41	32.66	34.44	30.68	31.88	38.47	31.01	28.86
IK20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.77	2.16	0.51
INA20	0.02	0.04	0.01	0.05	0.03	0.03	0.04	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.04	2.88	0.01	0.02
ICR203	0.51	0.72	0.66	0.62	0.26	0.54	0.77	0.49	0.95	1.07	0.50	1.21	0.80	1.07	0.09	0.01	0.00
IFED	8.44	8.43	7.95	8.02	8.42	12.58	12.36	13.16	4.53	4.74	5.22	4.15	5.43	4.84	11.54	16.90	18.69
IAL203	16.37	16.27	15.21	15.62	14.90	17.84	17.54	18.35	14.46	14.62	13.42	11.22	15.75	15.17	21.76	21.10	20.55
IMG0	29.00	29.89	30.33	30.11	30.23	25.55	25.85	24.67	32.43	31.99	32.35	33.44	31.67	31.99	12.21	16.26	18.38
INH0	0.02	0.08	0.04	0.08	0.08	0.12	0.04	0.02	0.05	0.03	0.00	0.06	0.04	0.01	0.10	0.05	0.14
ITI02	0.00	0.02	0.00	0.05	0.06	0.04	0.03	0.08	0.11	0.00	0.12	0.05	0.12	0.00	0.11	0.15	0.26
IBA0	0.35	0.08	0.13	0.00	0.00	0.27	0.10	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.18	0.22	0.00
ICA0	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.03	0.02	0.00	0.00	0.59	0.13	0.24
ITOTAL	86.29	86.48	85.67	85.38	85.30	85.30	85.97	85.46	85.04	84.89	84.30	84.61	84.49	85.05	88.70	88.00	87.65
ISI	6.031	6.042	6.164	6.086	6.192	5.751	5.868	5.801	6.317	6.318	6.421	6.714	6.045	6.215	7.298	6.221	5.848
IK	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.187	0.553	0.132
INA	0.008	0.016	0.004	0.020	0.012	0.012	0.016	0.001	0.004	0.004	0.001	0.008	0.001	0.016	1.060	0.004	0.008
ICR	0.080	0.112	0.103	0.097	0.041	0.087	0.123	0.079	0.147	0.165	0.078	0.187	0.125	0.165	0.014	0.002	0.001
IFE2+	1.385	1.379	1.309	1.325	1.393	2.140	2.077	2.230	0.737	0.773	0.859	0.677	0.895	0.790	1.031	2.836	3.168
IAL	3.786	3.749	3.528	3.636	3.474	4.276	4.153	4.381	3.314	3.359	3.110	2.578	3.658	3.486	4.866	4.989	4.908
IMG	8.715	8.709	8.897	8.864	8.913	7.745	7.740	7.448	9.398	9.295	9.479	9.717	9.301	9.295	3.453	4.862	5.552
INH2+	0.004	0.014	0.007	0.014	0.014	0.021	0.007	0.004	0.009	0.005	0.001	0.010	0.007	0.002	0.017	0.009	0.025
ITI	0.001	0.003	0.001	0.008	0.009	0.007	0.005	0.013	0.017	0.001	0.018	0.008	0.018	0.001	0.016	0.023	0.040
IBA	0.027	0.007	0.011	0.001	0.001	0.022	0.008	0.003	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004	0.014	0.018	0.001
ICA	0.009	0.009	0.005	0.005	0.005	0.011	0.007	0.005	0.003	0.005	0.007	0.005	0.001	0.001	0.120	0.028	0.053
ITOTAL	20.041	20.034	20.024	20.051	20.049	20.068	19.999	19.958	19.940	19.923	19.969	19.901	20.047	19.969	18.871	19.541	19.729

ANEXO 14 TABELA 05 COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE NICAS EM DIFERENTES LITOLOGIAS DA SEQUÊNCIA
VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINÓPOLIS (MG) EXPRESSOS EM PORCENTAGENS
EM PESO DOS ÓXIDOS E DISTRIBUIÇÃO CATIONICA CALCULADA NA BASE DE 24 OXIGÊNIOS
27 ANÁLISES

195

ANÁLISE	34	35	37	41	44	50	52	56	60	87	94	96	104
IST02	37.00	37.48	37.14	33.28	36.45	37.19	54.39	52.38	35.91	52.96	36.68	37.01	36.70
IK20	8.71	8.94	8.38	6.03	8.67	9.13	0.00	4.64	8.86	4.56	9.01	8.54	9.28
INA20	0.10	0.22	0.22	0.11	0.15	0.13	0.15	6.20	0.13	5.34	0.12	0.14	0.15
ICR203	0.58	0.94	0.76	0.80	0.91	0.61	0.06	0.58	0.72	0.30	0.51	0.32	0.43
IFED	12.20	12.63	13.04	20.94	15.76	15.84	23.43	7.39	20.31	6.99	17.69	18.53	17.53
IAL203	16.74	16.79	17.03	18.58	17.07	17.01	1.44	18.02	16.84	21.96	17.64	17.85	17.88
ING0	15.21	14.87	15.05	11.96	13.66	13.64	16.81	8.10	8.94	3.99	11.39	11.17	11.72
INW0	0.09	0.11	0.05	0.09	0.12	0.15	0.56	0.08	0.09	0.05	0.19	0.06	0.17
ITI02	1.20	1.50	1.51	0.86	1.44	1.53	0.00	0.76	1.06	0.57	1.57	1.62	1.41
IBA0	0.18	0.41	0.20	0.00	0.88	0.00	0.20	0.03	0.00	0.00	0.66	0.20	0.46
ICAO	0.06	0.11	0.05	0.04	0.05	0.03	0.91	0.29	0.09	1.95	0.01	0.01	0.00
ITOTAL	92.07	94.00	93.43	92.68	94.35	95.26	97.96	98.46	92.95	98.67	95.47	95.45	95.72
ISI	6.132	6.118	6.079	5.663	6.004	6.065	8.276	7.571	6.144	7.568	6.047	6.074	6.027
IK	1.842	1.862	1.749	1.309	1.822	1.899	0.001	0.856	1.933	0.832	1.895	1.789	1.944
INA	0.033	0.071	0.072	0.038	0.047	0.042	0.045	1.738	0.043	1.481	0.038	0.047	0.048
ICR	0.076	0.122	0.099	0.107	0.119	0.080	0.008	0.067	0.098	0.034	0.067	0.042	0.056
IFE2+	1.691	1.725	1.785	2.980	2.171	2.161	2.982	0.894	2.906	0.836	2.439	2.543	2.408
IAL	3.270	3.231	3.286	3.726	3.314	3.270	0.259	3.070	3.396	3.699	3.428	3.453	3.461
ING	3.758	3.618	3.672	3.034	3.354	3.316	3.813	1.745	2.279	0.849	2.799	2.733	2.869
INW2+	0.013	0.015	0.007	0.013	0.018	0.022	0.073	0.010	0.014	0.006	0.027	0.009	0.025
ITI	0.151	0.185	0.186	0.110	0.179	0.188	0.001	0.083	0.137	0.062	0.195	0.200	0.174
IBA	0.012	0.026	0.014	0.001	0.005	0.001	0.012	0.002	0.001	0.001	0.043	0.013	0.030
ICA	0.010	0.019	0.009	0.008	0.009	0.005	0.149	0.045	0.017	0.299	0.003	0.002	0.001
ITOTAL	16.983	16.988	16.954	16.984	17.037	17.044	15.614	16.075	16.963	15.662	16.978	16.899	17.037

ANEXO 14 TABELA - ANEXO 05 - CONTINUAÇÃO

ANÁLISE	106	109	118	144	152	153	155	157	166	167	319	321	347	349
IST02	35.91	36.27	36.48	40.44	32.72	31.33	36.29	33.88	40.09	48.58	32.48	32.07	24.55	30.40
IK20	7.26	8.47	8.56	3.64	4.61	3.88	8.27	1.28	4.36	10.29	0.13	0.06	0.00	4.18
INA20	0.20	0.33	0.17	0.16	0.15	0.40	0.53	0.10	0.09	0.64	1.25	1.17	0.04	0.05
ICR203	0.55	0.70	0.78	0.66	0.32	0.42	0.16	0.39	0.76	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00
IFED	14.16	13.78	14.99	12.20	15.47	16.97	13.55	19.06	13.96	0.99	0.46	0.13	36.63	33.97
IAL203	17.65	17.77	17.82	17.74	19.69	19.44	20.59	15.40	17.91	30.17	47.15	50.78	19.65	16.23
ING0	15.26	14.74	14.73	13.25	15.89	14.69	10.81	11.81	12.97	2.45	0.23	0.04	6.37	6.27
INW0	0.02	0.05	0.07	0.25	0.21	0.31	0.22	0.62	0.17	0.03	0.00	0.01	0.23	0.17
ITI02	1.15	1.25	1.23	1.06	1.21	1.19	1.18	0.70	1.24	0.00	0.16	0.04	0.17	1.59
IBA0	0.22	0.32	0.27	0.00	0.25	0.32	0.32	0.24	0.10	0.00	0.00	0.00	0.19	0.63
ICAO	0.02	0.06	0.00	0.13	0.01	0.09	0.15	0.37	0.04	0.41	11.03	11.51	0.17	0.21
ITOTAL	92.39	93.73	95.09	89.60	90.52	89.03	92.07	83.86	91.70	93.57	92.89	95.80	88.04	93.68
ISI	5.947	5.958	5.936	6.583	5.514	5.420	6.022	6.161	6.470	7.169	4.801	4.592	4.723	5.488
IK	1.533	1.775	1.776	0.755	0.991	0.856	1.751	0.296	0.898	1.938	0.025	0.011	0.001	0.962
INA	0.066	0.107	0.055	0.051	0.050	0.133	0.170	0.037	0.030	0.185	0.360	0.325	0.017	0.017
ICR	0.072	0.091	0.100	0.085	0.043	0.058	0.021	0.057	0.097	0.001	0.001	0.001	0.007	0.001
IFE2+	1.961	1.894	2.040	1.672	2.100	2.455	1.801	2.899	1.885	0.123	0.057	0.016	5.893	5.129
IAL	3.445	3.441	3.418	3.404	3.911	3.964	4.027	3.301	3.407	5.248	8.213	8.568	4.456	3.453
ING	3.767	3.609	3.573	3.215	3.991	3.788	2.674	3.202	3.120	0.540	0.051	0.009	1.827	1.687
INW2+	0.003	0.007	0.010	0.035	0.030	0.046	0.031	0.096	0.024	0.004	0.001	0.001	0.039	0.026
ITI	0.143	0.155	0.151	0.130	0.154	0.155	0.147	0.096	0.151	0.001	0.019	0.004	0.025	0.216
IBA	0.015	0.021	0.018	0.001	0.017	0.022	0.022	0.018	0.007	0.001	0.001	0.001	0.015	0.045
ICA	0.004	0.010	0.001	0.023	0.002	0.018	0.027	0.073	0.007	0.066	1.747	1.766	0.035	0.042
ITOTAL	16.952	17.063	17.072	15.948	16.877	16.910	16.769	16.231	16.092	15.269	15.268	15.289	17.031	17.061

ANEXO 14 - TABELA 06 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE OLIVINAS EXPRESSAS EM PORCENTAGENS EM PESO DOS
ÓXIDOS E NÚMERO CATIONICO CALCULADO NA BASE DE 4 ÁTOMOS DE OXIGÊNIOS
(11 ANÁLISES)

ANÁLISE	1	2	4	12	13	25	225	226	229	232	236
ISI02	38.54	38.65	38.16	38.25	38.01	38.55	36.42	37.47	36.93	37.37	40.08
IK2O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
INA2O	0.03	0.02	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.00	0.01
ICR2O3	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.04	0.03	0.05	0.00
IFEO	23.97	24.15	24.05	23.94	24.61	23.75	30.36	30.59	30.76	29.35	24.28
IAL2O3	0.00	0.00	0.01	0.00	0.18	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02
IMGO	37.62	37.18	37.43	37.34	35.49	37.03	33.74	33.98	33.26	34.61	33.37
IMNO	0.25	0.29	0.30	0.31	0.37	0.35	0.53	0.60	0.64	0.53	0.64
ITIO2	0.00	0.03	0.00	0.12	0.07	0.05	0.05	0.00	0.00	0.08	0.00
IBAO	0.25	0.00	0.00	0.30	0.07	0.20	0.26	0.05	0.05	0.02	0.17
ICAO	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.01	0.04	0.02
ITOTAL	100.67	100.32	100.83	100.25	98.82	99.97	101.39	102.77	101.71	102.05	98.59
ISI	1.004	1.009	0.997	1.002	1.012	1.011	0.977	0.988	0.987	0.987	1.063
IK	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
INA	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001
ICR	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
IFE2+	0.523	0.528	0.543	0.525	0.548	0.521	0.681	0.675	0.687	0.648	0.539
IAL	0.001	0.001	0.001	0.001	0.006	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001
IMG	1.461	1.447	1.457	1.458	1.408	1.447	1.349	1.335	1.324	1.362	1.319
IMN2+	0.006	0.007	0.007	0.007	0.009	0.008	0.013	0.014	0.015	0.012	0.015
ITI	0.001	0.001	0.001	0.003	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001
IBA	0.003	0.001	0.001	0.004	0.001	0.003	0.003	0.001	0.001	0.001	0.002
ICA	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.002	0.001
ITOTAL	2.997	2.992	3.005	2.996	2.984	2.989	3.023	3.014	3.015	3.012	2.938

ANEXO 14 - TABELA 07 - COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE PIROXÊNITOS EM DIFERENTES LITOLOGIA DE SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINÓPOLIS (MG) EXPRESSOS EM PORCENTAGEM EM PESO DOS ÓXIDOS, E PROPORÇÕES ENTRE MINERAIS, COM DISTRIBUIÇÃO CATIONICA NA BASE DE 6 ÁTOMOS DE OXIGÊNIO (13 ANÁLISES)

ANÁLISES	68	72	172	175	178	179	271	270	272	326	353	354	377
SiO ₂	49.23	53.99	54.41	54.56	55.04	54.01	59.09	57.91	59.22	54.87	54.43	53.77	51.44
TiO ₂	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00	0.10	0.16	0.04	0.07	0.00	0.12	0.25	0.46
Al ₂ O ₃	0.27	0.43	0.25	0.31	0.27	0.65	0.16	0.62	0.05	0.48	0.38	1.19	2.75
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.16	0.05	0.10	0.14	0.02	0.07	0.00	0.04	0.00	0.01	0.00	0.13	1.02
FeO	2.25	1.07	6.40	6.49	6.76	6.95	1.78	2.08	1.90	5.13	5.14	5.94	5.98
MnO	0.09	0.07	0.26	0.29	0.28	0.29	0.09	0.17	0.20	0.27	0.25	0.18	0.14
MgO	28.01	18.99	14.38	14.32	14.06	15.20	23.71	23.68	23.64	15.20	15.68	16.27	16.55
NiO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CaO	11.84	24.34	24.27	23.87	24.05	21.81	12.60	12.17	12.88	24.89	25.17	21.64	17.68
Na ₂ O	0.02	0.02	0.20	0.25	0.20	0.19	0.10	0.22	0.05	0.28	0.10	0.18	0.38
K ₂ O	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05
TOTAL	91.90	99.02	100.27	100.23	100.68	99.26	97.71	96.95	98.00	101.13	101.26	99.55	96.46
UREITA	0.19	0.13	0.27	0.43	0.06	0.20	0.00	0.11	0.00	0.03	0.00	0.38	3.07
AKHITA	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
JADEITA	0.00	0.00	1.10	1.36	1.20	1.15	0.75	1.66	0.22	1.93	0.00	0.96	0.00
TSCHERMAKITA	0.30	0.10	0.00	0.00	0.00	2.00	0.46	1.29	0.20	0.00	0.33	2.96	8.03
ENSTATITA	73.79	51.02	39.86	39.85	39.29	42.48	69.38	68.59	69.10	41.25	42.40	44.84	47.03
FERROSILITA	3.46	1.72	10.37	10.57	11.04	11.35	3.09	3.66	3.45	8.23	8.17	0.46	9.77
WOLLASTONITA	22.27	46.96	48.35	47.75	48.31	42.81	26.27	24.69	26.96	48.56	48.76	41.40	32.10

ANEXO 14 - TABELA 08 COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE GRANADAS EM DIFERENTES TIPOS LITOLÓGICOS EXPRESSOS
 EM PORCENTAGENS EM PESO DOS ÓXIDOS E PROPORÇÕES CATIONICAS CALCULADAS NA BASE DE
 ÁTOMOS DE OXIGÊNIO (14 ANÁLISES)

ANÁLISES	42	46	91	92	93	100	101
SiO ₂	38.35	38.54	38.51	38.72	38.51	38.22	39.16
TiO ₂	0.16	0.00	0.02	0.01	0.05	0.00	0.03
Al ₂ O ₃	21.46	21.56	21.58	21.46	21.72	21.43	21.70
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.25	0.12	0.30	0.33	0.04	0.17	0.08
FeO	31.42	31.02	31.93	29.58	31.97	33.16	32.87
MnO	1.98	2.31	3.95	5.94	2.63	3.74	2.60
MgO	4.27	4.34	4.72	3.69	5.28	3.57	4.84
CaO	3.69	3.62	1.25	2.53	1.43	1.27	1.22
Na ₂ O	0.04	0.02	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	101.62	101.53	102.26	102.26	101.64	101.59	102.51
Si	0.166 X-Mg	0.169 X-Mg	0.183 X-Mg	0.144 X-Mg	0.205 X-Mg	0.141 X-Mg	0.188 X-Mg
Ti	0.687 X-Fe ²⁺	0.678 X-Fe ²⁺	0.695 X-Fe ²⁺	0.653 X-Fe ²⁺	0.697 X-Fe ²⁺	0.739 X-Fe ²⁺	0.720 X-Fe ²⁺
Al	0.044 X-Mn	0.051 X-Mn	0.087 X-Mn	0.132 X-Mn	0.058 X-Mn	0.084 X-Mn	0.057 X-Mn
Fe ³⁺	0.103 X-Ca	0.101 X-Ca	0.035 X-Ca	0.071 X-Ca	0.040 X-Ca	0.036 X-Ca	0.034 X-Ca
Cr	16.58 Piropo	16.91 Piropo	18.30 Piropo	14.43 Piropo	20.49 Piropo	14.05 Piropo	18.80 Piropo
Fe ²⁺	68.52 Almandina	67.73 Almandina	69.51 Almandina	65.27 Almandina	69.67 Almandina	73.80 Almandina	72.01 Almandina
Mn	4.37 Espessartita	5.11 Espessartita	8.70 Espessartita	13.20 Espessartita	5.79 Espessartita	8.37 Espessartita	5.74 Espessartita
Mg	9.39 Grossularia	9.82 Grossularia	2.67 Grossularia	6.62 Grossularia	3.94 Grossularia	3.61 Grossularia	3.41 Grossularia
Ca	-0.08 Andradita	0.07 Andradita	0.14 Andradita	-0.57 Andradita	-0.17 Andradita	0.00 Andradita	0.00 Andradita
Na	0.46 Titanogranada	0.00 Titanogranada	0.05 Titanogranada	0.03 Titanogranada	0.16 Titanogranada	0.00 Titanogranada	0.00 Titanogranada
K	0.54 Uvarovita	0.25 Uvarovita	0.90 Uvarovita	1.03 Uvarovita	0.04 Uvarovita	0.00 Uvarovita	0.00 Uvarovita

ANEXO 14 - TABELA 08 - CONTINUAÇÃO

ANÁLISES	110	111	112	113	154	156	158
SiO ₂	37.77	37.58	37.20	38.39	37.59	37.53	37.81
TiO ₂	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.08	0.07
Al ₂ O ₃	21.16	21.69	21.11	21.43	21.77	21.55	21.58
Fe ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr ₂ O ₃	0.28	0.33	0.29	0.18	0.17	0.21	0.22
FeO	31.66	31.36	30.90	30.15	27.77	27.44	26.51
MnO	1.59	2.01	3.11	2.38	8.24	8.71	8.72
MgO	3.75	3.66	2.54	4.30	3.58	3.65	3.34
CaO	3.89	4.23	4.32	4.05	1.91	1.55	2.04
Na ₂ O	0.05	0.00	0.04	0.01	0.00	0.05	0.02
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL	1100.15	1100.90	99.51	1100.89	1101.03	1100.77	1100.31
Si	0.148 X-Mg	0.143 X-Mg	0.102 X-Mg	0.169 X-Mg	0.140 X-Mg	0.144 X-Mg	0.133 X-Mg
Ti	0.705 X-Fe ²⁺	0.694 X-Fe ²⁺	0.703 X-Fe ²⁺	0.664 X-Fe ²⁺	0.622 X-Fe ²⁺	0.617 X-Fe ²⁺	0.611 X-Fe ²⁺
Al	0.036 X-Mn	0.044 X-Mn	0.071 X-Mn	0.053 X-Mn	0.183 X-Mn	0.195 X-Mn	0.198 X-Mn
Fe ³⁺	0.111 X-Ca	0.119 X-Ca	0.125 X-Ca	0.114 X-Ca	0.054 X-Ca	0.044 X-Ca	0.058 X-Ca
Cr	14.81 Piropo	14.25 Piropo	10.16 Piropo	16.86 Piropo	14.02 Piropo	14.36 Piropo	13.28 Piropo
Fe ²⁺	70.32 Almandina	69.44 Almandina	70.15 Almandina	66.39 Almandina	62.23 Almandina	61.52 Almandina	61.04 Almandina
Mn	3.57 Espessartita	4.45 Espessartita	7.07 Espessartita	5.30 Espessartita	18.34 Espessartita	19.48 Espessartita	19.73 Espessartita
Mg	10.54 Grossularia	11.86 Grossularia	12.43 Grossularia	11.05 Grossularia	5.38 Grossularia	4.38 Grossularia	5.83 Grossularia
Ca	-0.11 Andradita	0.00 Andradita	0.00 Andradita	-0.16 Andradita	0.00 Andradita	0.00 Andradita	0.00 Andradita
Na	0.00 Titanogranada	0.00 Titanogranada	0.00 Titanogranada	0.00 Titanogranada	0.00 Titanogranada	0.00 Titanogranada	0.00 Titanogranada
K	0.63 Uvarovita	0.00 Uvarovita	0.00 Uvarovita	0.53 Uvarovita	0.00 Uvarovita	0.00 Uvarovita	0.00 Uvarovita

ANEXO 14 - TABELA 09 - COMPOSIÇÃO QUÍMICAS DE EPIDOTOS, CALCULADA NA BASE DE 12,5 ÁTOMO DE OXIGÊNIO
(TODO O FERRO E MANGANÊS CALCULADO COM Fe³⁺ E Mn³⁺)(13 ANÁLISES)

ANÁLISE	128	129	130	131	135	138	141	186	300	328	334	335
ISI02	38.62	39.05	39.50	38.63	38.83	36.96	38.85	38.23	39.14	38.15	39.36	38.48
ITI02	0.03	0.22	0.00	0.00	0.10	0.18	0.15	0.11	0.17	0.01	0.10	0.10
IAL203	28.47	28.82	30.63	31.99	28.25	25.97	27.40	27.15	27.99	29.42	29.03	27.78
ICR203	0.10	0.22	0.01	0.00	0.01	0.00	0.19	0.05	0.03	0.00	0.02	0.04
IFE203	6.93	5.67	4.18	2.60	7.08	8.10	7.23	6.79	7.54	5.29	5.96	6.21
IMN203	0.11	0.08	0.13	0.09	0.17	0.11	0.15	0.20	0.21	0.16	0.10	0.13
IFEO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IMNO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IMGO	0.11	0.07	0.04	0.03	0.05	0.61	0.03	0.03	0.08	0.03	0.02	0.23
ICAO	23.28	23.55	23.80	24.01	23.49	21.59	23.31	23.05	23.45	22.85	23.22	21.51
INA20	0.02	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.01	0.07	0.09	0.05	0.01	0.06
IK20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.39
ITOTAL	97.66	97.71	98.29	97.35	98.01	93.55	97.32	95.68	98.70	95.96	97.82	94.93
IA1/B	59.2	63.5	75.30	85.2	57.5	49.0	53.5	55.9	54.1	69.2	64.1	60.9
ICr/B	0.6	1.4	0.10	0.0	0.1	0.0	1.2	0.3	0.2	0.0	0.1	0.2
ISI	0.002	3.022	3.018	2.969	3.011	3.011	3.036	3.036	3.018	2.998	3.037	3.061
ITI	0.002	0.013	0.000	0.000	0.006	0.011	0.009	0.007	0.010	0.001	0.006	0.006
IAL	2.608	2.629	2.759	2.898	2.581	2.494	2.524	2.541	2.543	2.725	2.640	2.605
ICR	0.006	0.014	0.001	0.000	0.001	0.000	0.012	0.003	0.002	0.000	0.001	0.002
IFE3+	0.405	0.330	0.240	0.150	0.413	0.497	0.425	0.406	0.438	0.313	0.346	0.372
IMN3+	0.006	0.005	0.007	0.006	0.010	0.007	0.009	0.012	0.013	0.010	0.006	0.008
IFE2+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
IMN2+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
IMG	0.012	0.008	0.004	0.003	0.006	0.074	0.004	0.004	0.009	0.004	0.002	0.027
ICA	1.939	1.953	1.949	1.977	1.951	1.885	1.952	1.962	1.937	1.924	1.920	1.834
INA	0.003	0.003	0.000	0.000	0.004	0.005	0.001	0.011	0.014	0.008	0.002	0.009
IK	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040
ITOTAL	7.984	7.977	7.978	8.004	7.983	7.982	7.971	7.982	7.982	7.982	7.961	7.964
IFe3+/B	39.4	33.3	23.9	14.3	40.8	49.3	43.5	41.9	43.5	29.8	34.6	37.4
IMn3+/B	0.6	0.5	0.7	0.5	1.0	0.7	0.9	1.3	1.3	0.9	0.6	0.8
ISI (3)	3.002	3.022	3.018	2.969	3.011	3.011	3.036	3.036	3.018	2.998	3.037	3.061
IAL	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
IFE3+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
IC (2)	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000
IAL	0.608	0.629	0.759	0.898	0.581	0.494	0.524	0.541	0.543	0.725	0.640	0.605
IFE3+	0.405	0.330	0.240	0.150	0.413	0.497	0.425	0.406	0.438	0.313	0.346	0.372
IMN3+	0.006	0.005	0.007	0.006	0.010	0.007	0.009	0.012	0.013	0.010	0.006	0.008
ITI	0.002	0.013	0.000	0.000	0.006	0.011	0.009	0.007	0.010	0.001	0.006	0.006
ICR	0.006	0.014	0.001	0.000	0.001	0.000	0.012	0.003	0.002	0.000	0.001	0.002
IB (1)	1.028	0.991	1.007	1.054	1.011	1.008	0.978	0.969	1.005	1.048	1.000	0.993
ICA	1.939	1.953	1.949	1.977	1.951	1.885	1.952	1.962	1.937	1.924	1.920	1.834
IMN2+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
IMG	0.012	0.008	0.004	0.003	0.006	0.074	0.004	0.004	0.009	0.004	0.002	0.027
IFE2+	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
INA	0.003	0.003	0.000	0.000	0.004	0.005	0.001	0.011	0.014	0.008	0.002	0.009
IK	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.040
IA (2)	1.954	1.964	1.953	1.981	1.961	1.963	1.957	1.977	1.960	1.936	1.924	1.910

ANEXO 14 TABELA 10 COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE TITANITAS (07 ANÁLISES) EM LITO-
LOGIAS DA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPÍNQUILIS(MG)
EXPRESSIONS EM PORCENTAGENS EM PESO DOS ÓXIDOS E DISTRIBUI-
ÇÃO CATIONICA NA BASE DE 6 OXIGÊNIOS

ANÁLISE	137	180	295	297	303	313	317
ISI02	31.99	31.23	33.63	31.03	31.10	30.76	31.18
IK20	0.00	0.01	0.31	0.01	0.03	0.02	0.03
INAO	0.03	0.04	1.01	0.02	0.01	0.00	0.00
ICR203	0.09	0.19	0.07	0.00	0.00	0.01	0.07
IFED	1.76	0.35	0.38	0.29	0.47	0.64	1.21
IAL203	7.71	2.21	3.00	1.42	1.28	1.50	1.45
INGO	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.06
INNO	0.13	0.02	0.09	0.10	0.07	0.03	0.01
ITIO2	28.39	33.52	33.36	35.88	36.60	34.10	32.33
IBAO	0.18	0.28	0.00	0.00	0.00	0.16	0.00
ICAO	26.20	27.89	25.77	28.42	27.99	27.99	27.63
ITOTAL	96.49	95.76	97.63	97.18	97.56	95.21	93.97
ISI	1.279	1.272	1.328	1.247	1.245	1.264	1.296
IK	0.001	0.001	0.016	0.001	0.002	0.002	0.002
INA	0.003	0.003	0.078	0.002	0.002	0.001	0.001
ICR	0.003	0.007	0.003	0.001	0.001	0.001	0.003
IFEZ+	0.059	0.013	0.013	0.010	0.016	0.023	0.043
IAL	0.363	0.106	0.140	0.068	0.061	0.073	0.072
INIG	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.004
INW2+	0.005	0.001	0.004	0.004	0.003	0.001	0.001
ITI	0.853	1.027	0.991	1.084	1.101	1.054	1.011
IBA	0.003	0.005	0.001	0.001	0.001	0.003	0.001
ICA	1.122	1.217	1.090	1.224	1.200	1.232	1.231
ITOTAL	3.688	3.649	3.659	3.637	3.626	3.648	3.658

ANEXO 14 TABELA 11 COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE CARBONATOS (04 ANÁLISES) EM LITOLOGIA DA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINOPOIS (MG) EXPRESSAS EM PORCENTAGENS EM PESO DOS ÓXIDOS E DISTRIBUIÇÃO CATIONICA NA BASE DE 6 OXIGÊNIOS

ANÁLISE	54	136	181	293
ISI02	0.35	0.19	0.09	0.26
IK20	0.00	0.00	0.00	0.01
INA20	0.00	0.11	0.00	0.06
ICR203	0.03	0.00	0.00	0.04
IFED	9.04	48.72	0.00	0.03
IAL203	0.12	0.11	0.04	0.07
ING0	0.51	0.15	0.00	0.07
IMN0	0.46	0.61	0.00	0.31
ITI02	0.00	0.05	0.00	0.01
IBA0	0.00	0.00	0.14	0.00
ICA0	44.92	6.69	51.69	52.13
ITOTAL	55.43	56.63	51.97	52.99
ISI	0.019	0.012	0.006	0.014
IK	0.001	0.001	0.001	0.001
INA	0.001	0.013	0.001	0.007
ICR	0.002	0.001	0.001	0.002
IFE2+	0.393	2.475	0.001	0.002
IAL	0.008	0.009	0.003	0.005
ING	0.040	0.014	0.001	0.006
IMN2+	0.021	0.032	0.001	0.014
ITI	0.001	0.003	0.001	0.001
IBA	0.001	0.001	0.003	0.001
ICA	2.499	0.436	2.983	2.940
ITOTAL	2.978	2.990	2.994	2.987

ANEXO 14 TABELA 12 COMPOSIÇÕES QUÍMICAS DE SILLIMANITAS (04 ANÁLISES) E ESTAUROLITA (01 ANÁLISE,
 EM LITOLOGIAS DA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPÍNÓPOLIS (mg) EXPRESSOS EM PORCENTAGENS
 EM PESO DOS ÓXIDOS E NÚMERO CATIONICO NA BASE DE 5 E 26 ÁTOMOS DE OXIGÊNIOS RESPECTIVAMENTE

ANÁLISE	150	151	159	160	165
ISI02	37.05	36.61	37.38	37.30	28.12
IK20	0.12	0.05	1.16	0.03	0.00
INA20	0.10	0.06	0.27	0.03	0.00
ICR203	0.00	0.03	0.00	0.00	1.01
IFE0	0.06	0.09	0.60	0.13	8.89
IAL203	61.70	62.65	55.90	62.17	53.30
ING0	0.02	0.00	0.10	0.01	1.09
IKNO	0.00	0.00	0.00	0.04	0.49
ITI02	0.00	0.08	0.00	0.08	0.57
IBAO	0.13	0.03	0.00	0.00	0.00
ICAO	0.07	0.06	0.16	0.03	0.00
ITOTAL	99.25	99.64	95.57	99.81	93.47
ISI	1.010	0.993	1.066	1.009	4.514
IK	0.005	0.002	0.043	0.001	0.001
INA	0.006	0.003	0.016	0.002	0.001
ICR	0.001	0.001	0.001	0.001	0.129
IFE2+	0.002	0.002	0.015	0.003	1.194
IAL	1.981	2.003	1.878	1.982	10.083
ING	0.001	0.001	0.005	0.001	0.261
IKN2+	0.001	0.001	0.001	0.002	0.068
ITI	0.001	0.002	0.001	0.002	0.069
IBA	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
ICA	0.003	0.002	0.006	0.001	0.001
ITOTAL	3.006	3.007	3.025	3.000	16.314

ANEXO 15

ANEXO 15 - TABELA 01 RESULTADOS ANALÍTICOS PARA COBALTO, CROMO, COBRE, NIQUEL, CHUMBO E ZINCO OBTIDOS EM Furos DE SONDAGENS, NA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINGSPOILS (MG) ÁREA DE RIBEIRÃO DA CONQUISTA (167 ANÁLISES)

FURO DE SONDAGENS	PROFUND. M	RESULTADOS ANALÍTICOS (ppm)					
		Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
IF-01	01	164	2882	146	590	22	134
	02	266	3349	126	1260	24	214
	03	472	3976	192	2520	21	328
	04	212	3254	94	1260	15	222
	05	256	3008	110	1640	16	300
	06	710	1783	140	3660	27	404
	07	220	3167	100	1520	17	250
	08	246	4119	86	1720	14	320
	09	300	3397	86	5700	20	532
	10	276	2731	71	2640	17	336
	11	216	3206	97	2740	16	324
	12	228	2662	136	1660	18	194
	13	260	1798	146	1520	28	144
	14	228	1820	300	1540	31	156
	15	270	2442	224	1640	33	210
	16	336	2441	242	2660	25	290
	17	250	2404	328	2240	28	264
	18	316	2274	330	2720	32	330
	19	306	1886	452	2100	47	690
	20	156	1376	428	1240	44	606
	21	142	837	100	736	17	250
	22	116	1179	270	994	54	724
	23	174	1259	460	1120	120	1210
	24	196	1172	678	1440	76	2620
	26	196	1376	710	1600	25	1264
	27	196	1325	308	1600	14	720
	31	134	1179	830	1480	20	1160
	32	138	1557	832	2910	25	2060
	33	218	1317	934	3260	60	3460
	34	214	1405	310	804	15	630
	35	212	1070	376	700	17	356
	36	176	745	296	632	15	312
	37	90	801	310	314	14	460
	38	94	645	110	1260	9	460
	39	582	2213	124	4900	30	820
	40	268	1732	194	2680	26	596
	41	128	1296	140	2680	34	560
	42	138	1157	206	2040	15	406
	43	98	1121	194	2200	18	346

FURO DE SONDAGENS	PROFUND. M	RESULTADOS ANALÍTICOS (ppm)					
		Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
F-01	44	15	392	39	172	5	51
	45	332	11012	370	2060	25	784
	46	25	808	7	708	13	184
	47	6	110	3	16	48	7
	48	4	53	12	11	7	4
	49	6	47	12	13	6	7
	50	4	32	12	10	6	5
	51	8	18	12	20	15	13
	52	26	8	258	52	6	71
	53	33	8	254	32	12	36
	57	17	21	37	82	15	11
	58	16	61	76	260	11	68
	61	15	24	35	13	15	8
	62	13	11	47	8	15	8
	63	27	13	108	15	15	12
	64	31	26	17	52	7	12
	65	32	3	33	11	50	13
	66	43	12	12	6	8	16
	67	106	3	8	5	7	70
	68	20	12	5	4	12	126
	69	29	12	9	6	180	90
	70	20	12	3	5	10	87
	71	23	2	2	5	12	124
	72	20	12	12	4	8	95
	73	17	12	2	5	11	81
	81.3	-	-	570	137	-	360
	85.1	-	-	1240	1800	-	1160
	92.7	-	-	470	2360	-	544
	101.1	-	-	354	1449	-	824
	126.4	-	-	474	1491	-	344
	128.0	-	-	158	725	-	612
	142.0	-	-	220	1076	-	404
	150.3	-	-	960	930	-	1720
	193.7	-	-	348	1484	-	3000
	194.7	-	-	128	800	-	1180
	195.7	-	-	1230	1317	-	3000
	196.7	-	-	1234	1106	-	2440
	197.7	-	-	512	1630	-	2760
	198.7	-	-	608	1276	-	1120

ANEXO 15 - TABELA 01 - CONTINUAÇÃO

FURO DE SONDAGENS	PROFUND M	RESULTADOS ANALÍTICOS (ppm)					
		Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
IF-02	01	-	-	282	1380	-	328
	02	-	-	266	1760	-	354
	03	-	-	144	1780	-	298
	03A	-	-	114	2800	-	410
	04	-	-	140	1770	-	230
	05	-	-	128	1980	-	294
	06	-	-	75	1860	-	302
	07	-	-	72	2760	-	414
	08	-	-	106	2140	-	252
	08A	-	-	100	3320	-	388
	09	-	-	74	2020	-	220
	10	-	-	85	2500	-	422
	11	-	-	174	2100	-	350
	12	-	-	134	2600	-	432
	13	-	-	54	2260	-	338
	14	-	-	87	2080	-	260
	15	-	-	102	1310	-	272
	16	-	-	116	1480	-	306
	17	-	-	190	2500	-	368
	18	-	-	172	2440	-	386
	19	-	-	180	2660	-	456
	20	-	-	268	3060	-	552
	21	-	-	402	2700	-	528
	22	-	-	312	2360	-	940
	23	-	-	236	2540	-	1314
	24	-	-	206	2050	-	2056
	25	-	-	234	1560	-	2000
	26	-	-	208	1080	-	894
	27	-	-	314	1040	-	1568
	28	-	-	194	750	-	514
	29	-	-	196	1680	-	404
	30	-	-	214	2240	-	556

FURO DE SONDAGENS	PROFUND M	RESULTADOS ANALÍTICOS (ppm)					
		Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
F-02	31	-	-	272	2080	-	444
	32	-	-	252	1640	-	138
	33	-	-	25	1940	-	140
	34	-	-	60	1040	-	282
	35	-	-	44	1620	-	232
	36	-	-	490	1840	-	1340
	37	-	-	124	2140	-	522
	38	-	-	284	2160	-	548
	39	-	-	140	1540	-	390
	40	-	-	39	2460	-	422
	41	-	-	14	2340	-	114
	42	-	-	20	2160	-	102
	43	-	-	68	1920	-	40
	44	-	-	13	2080	-	42
	45	-	-	11	1150	-	148
	46	-	-	14	2320	-	34
	47	-	-	17	1840	-	41
	48	-	-	10	2300	-	28
	49	-	-	12	1630	-	33
	50	-	-	47	760	-	21
	51	-	-	31	254	-	12
	52	-	-	4	86	-	13
	53	-	-	14	148	-	20
	54	-	-	5	59	-	7
	55	-	-	35	72	-	29
	56	-	-	244	350	-	52
	57	-	-	35	112	-	22
	58	-	-	46	202	-	18
	59	-	-	34	134	-	25
	60	-	-	48	26	-	42
	61	-	-	102	11	-	42

ANEXO 15 - TABELA 01 - CONTINUAÇÃO

IFURO DE SONDAGENS	PROFUND M	RESULTADOS ANALÍTICOS (ppm)					
		Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
IF-03	30	-	-	124	410	-	26
	35	-	-	130	516	-	202
	40	-	-	108	672	-	45
	41	-	-	104	726	-	146
	42	-	-	312	1080	-	41
	55	-	-	192	500	-	40
	60	-	-	172	526	-	30

IFURO DE SONDAGENS	PROFUND M	RESULTADOS ANALÍTICOS (ppm)					
		Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
F-04	28	-	-	80	730	27	268
	34	-	-	132	916	24	93
	36	-	-	140	914	28	208
	38	-	-	56	284	13	45
	39	-	-	190	690	29	226
	40	-	-	122	486	26	73
	41	-	-	66	272	22	124
	45	-	-	58	156	13	116
	47	-	-	136	226	17	148
	49	-	-	79	286	11	22

ANEXO 15 - TABELA 01 - CONTINUAÇÃO

IFURO DE SONDAGENS	PROFUND M	RESULTADOS ANALÍTICOS (ppm)					
		Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
IF-05	67	-	-	82	310	23	90
	68	-	-	110	328	24	104
	69	-	-	80	916	25	108

IFURO DE SONDAGENS	PROFUND M	RESULTADOS ANALÍTICOS (ppm)					
		Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
F-06	25.5	-	-	3400	3100	-	1900
	26.5	-	-	590	1500	-	1000
	27.5	-	-	460	1200	-	920
	28.5	-	-	600	860	-	1500
	29.5	-	-	-	790	-	-
	33.5	-	-	-	3000	-	-
	38.5	-	-	860	2600	-	1200
	39.5	-	-	1100	330	-	860

ANEXO 16

ANEXO 16 - TABELA 01 ANÁLISE QUÍMICA E DISTRIBUIÇÃO CATIONICA DE PIROTTITAS (31 AMOSTRAS) DA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPÍNGPOLIS (MG)
ÁREA DE RIBEIRÃO DA CONQUISTA

AMOSTRA	11-98.40	11-98.40	11-98.40	11-98.40	11-98.40	11-98.40	11-101.15	11-126.35	11-126.35	11-126.35	11-154.30	11-188.80	11-188.80	11-194.30	11-196	3-40.3	3-40.3	3-42	5-67
As	0.05	0.14	0.09	0.11	0.03	0.03	0.07	0.06	0.09	0.02	0.01	0.10	0.04	0.07	0.10	0.02	0.00	0.11	0.11
Ag	0.01	0.02	0.01	0.02	-	0.02	-	-	-	-	0.01	-	-	-	0.03	-	-	-	0.01
Sb	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au	-	0.07	-	0.06	-	-	-	0.05	0.04	-	-	-	-	-	0.02	-	-	0.00	-
Ni	0.56	0.25	0.34	0.46	0.54	0.61	0.50	0.49	0.58	0.33	0.25	0.31	0.47	0.42	0.35	0.30	3.34	0.48	0.19
Zn	0.00	-	-	0.01	-	-	0.02	-	-	0.11	0.14	-	0.00	0.73	-	0.05	0.02	-	0.04
Co	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S	39.42	40.10	40.02	39.79	39.51	40.35	39.25	38.89	39.16	39.94	40.44	39.43	39.20	39.35	39.14	39.85	39.59	39.19	40.08
Fe	59.96	59.42	59.54	59.56	59.90	58.98	60.07	60.49	60.13	59.61	59.13	60.14	60.29	59.42	60.35	59.77	57.04	60.20	59.57
Cu	-	-	-	-	0.02	0.01	0.09	0.00	-	-	0.02	0.02	0.00	0.00	0.01	0.02	-	0.01	0.01
TOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
As+3	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01
Ag+2	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	-	-	-	-	0.00	-	-	-	0.00	-	-	-	0.00
Sb+3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Au+2	-	0.00	-	0.00	-	-	-	0.00	0.00	-	-	-	-	-	0.00	-	-	0.00	-
Ni+2	0.04	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.25	0.04	0.01
Zn+2	0.00	-	-	0.00	-	-	0.00	-	-	0.01	0.01	-	0.00	0.05	-	0.00	0.00	-	0.00
Co+2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
HS	5.32	5.39	5.38	5.36	5.32	5.41	5.30	5.26	5.29	5.37	5.42	5.32	5.29	5.31	5.29	5.36	5.34	5.29	5.38
Fe+2	4.64	4.58	4.59	4.60	4.63	4.54	4.65	4.70	4.66	4.60	4.55	4.65	4.67	4.60	4.68	4.61	4.41	4.67	4.59
Cu+2	-	-	-	-	0.00	0.00	0.01	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00
BTOTAL	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00

ANEXO 16 - TABELA 02 ANÁLISE QUÍMICA E DISTRIBUIÇÃO CATIONICA DE PENTLANDITAS (23 ANÁLISES) DA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPÍNGPOLIS (MG)
ÁREA DE RIBEIRÃO DA CONQUISTA

[illegible]

ANEXO 16 TABELA 02 - CONTINUAÇÃO

[illegible]

ANEXO 16 - TABELA 03 ANÁLISE QUÍMICA E DISTRIBUIÇÃO CATIONICA DE PIRITAS (23 ANÁLISES) DA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPÍNOPOLIS (MG)
ÁREA DE RIBEIRÃO DA CONQUISTA

[illegible]

ANEXO 16 - TABELA 03- CONTINUAÇÃO

[illegible]

ANEXO 16 - TABELA 05 ANÁLISE QUÍMICA E DISTRIBUIÇÃO CATIÔNICA DE ESFALERITAS (21 ANÁLISES) DA SEQUÊNCIA VULCÂNICO-SEDIMENTAR DE ALPINOPLIS (MG)
ÁREA DE RIBEIRÃO DA CONQUISTA

[illegible]

ANEXO 16 - TABELA 05 - CONTINUAÇÃO

[illegible]

ANEXO 17

ANEXO 17 - TABELA 01 - ANÁLISE E DISTRIBUIÇÃO CATIONICA DE ESPINÉLIOS CROMÍFEROS (13 ANÁLISES)
NA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINÓPOLIS (MG) - BASE DE 32 OXIGÊNIOS

[illegible]

ANEXO 17 - TABELA 03 - ANÁLISE QUÍMICA E DISTRIBUIÇÃO CATIONICA E ILMENITAS (17 ANÁLISES)
PRESENTES NA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINO-POLIS (MG) - BASE DE 6 OXIGÊNIOS

ÍNDICES	1-05.10	1-98.40	1-98.40	1-150.3	1-150.3	3-50.8	3-50.8	4-36.2	8-48.2	10-64.3	10-85.1	1-188.8	8-77.9	8-77.9	3-40.3	3-40.3	3-40.3
IA103	0.04	0.04	0.04	0.05	0.56	0.05	0.00	0.39	0.03	0.01	0.02	0.05	0.06	0.03	0.03	0.07	0.02
IMgO	0.12	0.14	0.50	0.15	0.18	0.32	0.26	0.20	0.41	1.68	0.07	0.16	0.57	0.50	0.11	0.16	0.14
INiO	-	0.00	-	0.05	-	-	-	0.09	0.11	0.01	-	0.04	0.02	-	0.06	-	0.02
ITiO2	52.58	52.68	53.91	53.25	53.63	52.32	53.59	51.33	53.77	53.68	53.38	53.45	52.40	52.74	52.60	53.20	53.10
IFeO	42.79	43.96	41.08	43.20	32.45	45.82	44.51	46.32	43.13	29.97	42.16	43.91	44.84	44.58	46.56	46.08	45.94
IMnO	4.44	3.03	4.47	3.28	13.07	1.47	1.58	1.58	2.47	14.56	4.34	2.30	2.00	2.07	0.51	0.49	0.56
ICr2O3	0.03	0.14	-	0.02	0.10	0.03	0.05	0.09	0.06	0.08	0.02	0.09	0.10	0.08	0.13	-	0.22
ITOTAL	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
IA1+2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
IMg+2	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	0.12	0.01	0.01	0.04	0.04	0.01	0.01	0.01
INi+2	-	0.00	-	0.00	-	-	-	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	-	0.00	-	0.00
ITi+4	2.00	2.00	2.03	2.01	2.01	1.99	2.02	1.96	2.02	2.01	2.02	2.02	1.98	2.00	2.00	2.01	2.01
IFe+2	1.81	1.85	1.72	1.82	1.35	1.93	1.87	1.96	1.81	1.25	1.77	1.84	1.89	1.88	1.97	1.94	1.93
IMn+2	0.19	0.13	0.19	0.14	0.55	0.06	0.07	0.07	0.10	0.61	0.18	0.10	0.09	0.09	0.02	0.02	0.02
ICr+3	0.00	0.01	-	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	-	0.01
ITOTAL	4.00	4.00	3.97	3.99	3.97	4.01	3.98	4.03	3.97	3.99	3.98	3.98	4.01	4.00	4.00	3.99	3.99
IND-2	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00	6.00

ANEXO 17 - TABELA 04 - ANÁLISE QUÍMICA E DISTRIBUIÇÃO CATIONICA DE RUTILOS (07 ANÁLISES)
DA SEQUÊNCIA VULCANO-SEDIMENTAR DE ALPINÓPOLIS (MG) BASE DE 2 OXIGÊNIOS

[illegible]