**Universidade de São Paulo
Instituto de Geociências**

**Aspectos da Mineralogia, Geoquímica,
Gêneses e Potencialidade Econômica do
Campo Pegmatítico de Marilac, Minas Gerais**

Antonio Luciano Gandini

Orientador: Prof. Dr. Darcy Pedro Svisero

Tese de Doutorado

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

São Paulo — 1999

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

**ASPECTOS DA MINERALOGIA, GEOQUÍMICA,
GÊNESES E POTENCIALIDADE ECONÔMICA DO
CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC, MINAS GERAIS**

Antonio Luciano Gandini

Orientador: Prof. Dr. Darcy Pedro Svisero

TESE DE DOUTORAMENTO

Programa de Pós-Graduação em Mineralogia e Petrologia

SÃO PAULO

1999

Turmalinas bicolores numa matrix de cookeita. A amostra foi coletada no Pegmatito da Golconda III em Governador Valadares, Minas Gerais. O espécime mede, aproximadamente, 20cm de altura. Fotografia de Harold e Erica Van Pelt (Proctor 1985).

*A DEUS, por me ajudar e ter colocado pessoas maravilhosas no meu caminho.
A Cida, minha amável e querida esposa, por tudo que representa para mim;
a meus adoráveis filhos Maria Luíza e Pedro Henrique,
pelas infinitas horas que deixei de participar como pai;
a meus pais, Ugo 'in meroriam' e Célia;
a meus irmãos, Rita, Huguinho, Neta e Regina e a minha tia Elvira,
pelo grande incentivo que sempre recebi, dedico este trabalho.*

ÍNDICE GERAL

ÍNDICE DE FIGURAS	pág. iv
ÍNDICE DE TABELAS	viii
ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS/FOTOMICROGRAFIAS	x
ABREVIATURAS E SIGLAS	xi
RESUMO	xv
ABSTRACT	xviii
AGRADECIMENTOS	xx
1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA E VIAS DE ACESSO	3
1.2 - ASPECTOS FISIOGRAFICOS	8
1.3 - OBJETIVOS DO TRABALHO	9
1.4 - ORGANIZAÇÃO DA TESE	12
2 - METODOLOGIA DE ESTUDO	15
2.1 - TRABALHOS DE CAMPO	16
2.2 - TRABALHOS DE LABORATÓRIO	18
2.2.1 - PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS	19
2.2.2 - DENSIDADE RELATIVA	35
2.2.3 - MÉTODOS ÓPTICOS	35
2.2.4 - DIFRAÇÃO DE RAIOS X	36
2.2.5 - ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NO INFRAVERMELHO	36
2.2.6 - MICROTERMOMETRIA DE INCLUSÕES FLUIDAS	37
2.2.7 - ESPECTROSCOPIA MICRO-RAMAN	39
2.2.8 - FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X	40
2.2.9 - FOTOMETRIA DE CHAMA	41
2.2.10 - GRAVIMETRIA (PERDA AO FOGO)	42
2.2.11.- TITULOMETRIA	43
2.2.12 - ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÔMICA COM PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO (ICP/AES)	44
2.2.13 - MICROSSONDA ELETRÔNICA	45
2.2.14 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	46

2.2.15 - TESTE DE QUEIMA	47
3 - GEOLOGIA REGIONAL	48
3.1 - LITOESTRATIGRAFIA	48
3.1.1 - FAIXA CRATÔNICA (NÚCLEO GUANHÃES).....	51
3.1.1.1 - COMPLEXO BASAL	51
3.1.1.1.1 - UNIDADE 1	51
3.1.1.1.2 - UNIDADE 2	52
3.1.1.2 - GRUPO GUANHÃES.....	52
3.1.1.3 - GRANITOS PRÉ- A SINTECTÔNICOS	52
3.1.1.3.1 - SUÍTE INTRUSIVA JENIPAPO	53
3.1.1.3.2 - MACIÇO GRANÍTICO AÇUCENA.....	53
3.1.2 - FAIXA MÓVEL (DOMÍNIO OCIDENTAL).....	55
3.1.2.1 - COMPLEXO MANTIQUEIRA	55
3.1.2.2 - GRUPO RIO DOCE	58
3.1.2.2.1 - FORMAÇÃO SÃO TOMÉ	59
3.1.2.3 - GRANITOS SIN- A TARDITECTÔNICOS	60
3.1.2.3.1 - GRANITO BAIXA DO BUGRE	60
3.1.3 - ROCHAS INTRUSIVAS	60
3.1.4 - TERRAÇOS ALUVIONAIS.....	61
3.1.5 - ALUVIÕES	61
3.2 - CONTEXTO GEOTECTÔNICO	61
4 - O CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC	64
4.1 - PEGMATITOS: UMA REVISÃO	64
4.1.1 - CLASSIFICAÇÃO	65
4.1.2 - TAMANHO E FORMA	66
4.1.3 - MINERALOGIA E GEOQUÍMICA	68
4.1.4 - ESTRUTURA INTERNA	71
4.1.5 - FORMAÇÃO DE CORPOS DE SUBSTITUIÇÃO	76
4.1.6 - GÊNESE	77
4.1.7 - DISTRIBUIÇÃO E IDADE	78
4.2 - A PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL DO BRASIL.....	83
4.3 - PEGMATITOS DO CAMPO DE MARILAC	86

5 - FELDSPATOS	94
5.1 - FELDSPATOS DO CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC	96
5.2 – POTENCIALIDADE ECONÔMICA	119
6 - MICAS	128
6.1 - MICAS DO CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC	132
6.2 – POTENCIALIDADE ECONÔMICA	151
7 - BERILO	152
7.1 - CRISTALOGRAFIA	152
7.1.1 - PARÂMETROS DE CELA UNITÁRIA	155
7.1.2 - CRISTALOGRAFIA	156
7.2 - PROPRIEDADES FÍSICAS	162
7.3 - CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DO BERILO	168
7.4 - BERILO DO CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC	170
7.5 – POTENCIALIDADE ECONÔMICA	188
8 - NIÓBIO-TANTALATOS	189
8.1 - NIÓBIO-TANTALATOS DO CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC	191
8.2 – POTENCIALIDADE ECONÔMICA	223
9 - OUTROS MINERAIS	225
10 - ZONEOGRAFIA E GEOQUÍMICA	229
11 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	240
12 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	246

ÍNDICE DE FIGURAS

	pág.
FIGURA 1 - Principais acessos a Governador Valadares partindo de algumas capitais brasileiras	4
FIGURA 2 - Localização geográfica da área onde se encontram os vários corpos pegmatitos objeto deste estudo	5
FIGURA 3 - Localização geográfica dos corpos pegmatíticos, dos quais 43 deles foram selecionados para estudo	7
FIGURA 4 - Mapa de pontos em coordenadas UTM da literatura	17
FIGURA 5 - Esboço geológico da Folha Marilac	49
FIGURA 6 - Coluna estratigráfica da Folha Marilac	50
FIGURA 7 - Distribuição dos elementos terras raras em granitos	57
FIGURA 8 - Esquema idealizado da estrutura petrográfica de um corpo pegmatítico vertical, destacando suas várias zonas	72
FIGURA 9 - Bloco diagrama idealizado mostrando as relações entre as três unidades estruturais dentro dos corpos pegmatíticos	73
FIGURA 10 - Bloco diagrama idealizado de um pegmatito zonado	75
FIGURA 11 - Desenho ilustrativo da origem das diversas séries graníticas com seus ambientes tectônicos, classificadas conforme suas origens	81
FIGURA 12 - Localização das três províncias pegmatíticas brasileiras	82
FIGURA 13 - Localização da Província Pegmatítica Oriental com seus diversos limites modificados por diversos pesquisadores durante várias décadas	85
FIGURA 14 - Localização dos diversos corpos pegmatíticos estudados pertencentes ao Campo de Marilac	87
FIGURA 15 - Planta esquemática do Pegmatito Olho-de-Gato	88
FIGURA 16 - Estrutura dos feldspatos	95
FIGURA 17 - Diagrama ternário da solução sólida em feldspatos	114
FIGURA 18 - Diagrama ternário de feldspatos com isotermas e dados dos 190 feldspatos ...	114
FIGURA 19 - Gráfico K x Rb dos 190 feldspatos do Campo de Marilac	116
FIGURA 20 - Gráfico K/Rb x Rb dos 190 feldspatos do Campo de Marilac mostrando o grau de diferenciação do referido campo	117
FIGURA 21 - Gráfico K/Rb x Cs dos 190 feldspatos do Campo de Marilac	117

FIGURA 22 - Espectros de absorção no infravermelho de 42 cristais de feldspatos do Campo de Marilac exibindo as feições de duas bandas no intervalo de 800 a 700cm ⁻¹ .	120
FIGURA 23 - Espectros de absorção no infravermelho de 42 cristais de feldspatos do Campo de Marilac exibindo as bandas da 3.630cm ⁻¹ da água de absorção, do gás carbônico e para o metano	121
FIGURA 24 - Distribuição dos componentes fluidos presentes nos feldspatos	123
FIGURA 25 - Estrutura das micas	129
FIGURA 26 - Derivação dos 6 padrões de mica	130
FIGURA 27 - Relação K x Rb das micas dos pegmatitos do Campo de Marilac	142
FIGURA 28 - Relação entre a razão K/Rb e a quantidade em Ba, publicados por vários autores, nas micas das lavras do Campo de Marilac	144
FIGURA 29 - Distribuição dos dados de muscovita, publicados por vários autores, no gráfico que relaciona K/Rb com o teor em Li, nas micas das lavras do Campo de Marilac	144
FIGURA 30 - Distribuição dos dados de muscovita, publicados por vários autores, no gráfico que relaciona K/Rb com o teor em Ti nas micas das lavras do Campo de Marilac	145
FIGURA 31 - Relação entre a razão K/Rb e a quantidade em Rb nas micas das lavras do Campo de Marilac	148
FIGURA 32 - Mesma relação da FIGURA 31 (K/Rb x Rb) evidenciando uma evolução durante a cristalização da muscovita de diferentes zonas por pegmatito	148
FIGURA 33 - Gráfico MgO x TiO ₂ das biotitas do granito e dos pegmatitos	149
FIGURA 34 - Distribuição das micas do granito e dos pegmatitos	149
FIGURA 35 - Diagramas de espectroscopia de absorção de infravermelho de micas na faixa de 1.200 a 600cm ⁻¹	150
FIGURA 36 - Diagramas de espectroscopia de absorção de infravermelho de micas na faixa de 1.200 a 600cm ⁻¹	151
FIGURA 37 - Estrutura do berilo	159
FIGURA 38 - Vista lateral dos canais na estrutura do berilo	160
FIGURA 39 - Diagrama ilustrando a variação dos índices de refração e também da densidade- relativa em função da concentração de álcalis	165
FIGURA 40 - Relação c _o /a _o de 49 cristais de berilo de 18 pegmatitos da área estudada	179
FIGURA 41 - Diagramas de espectrografia de absorção no infravermelho de 60 cristais de	

berilo, destacando as bandas de absorção dos componentes fluidos contidos no hospedeiro	182
FIGURA 42 - Diagramas de espectrografia de absorção no infravermelho de 60 cristais de berilo, destacando as bandas de estiramento das ligações anelares de Si-O-Si e Be-O	183
FIGURA 43 - Distribuição dos berilos tetraédricos em relação às bandas de absorção das ligações Si-O-Si e Be-O	184
FIGURA 44 - Relação entre a porcentagem de álcalis presentes nos canais com as substituições tetraédricas na banda 1.200cm^{-1}	186
FIGURA 45 - Relação entre a porcentagem de álcalis presentes nos canais com as substituições tetraédricas na banda 805cm^{-1}	186
FIGURA 46 - Relação entre as substituições octaédricas com a posição da banda de absorção da ligação Be-O	187
FIGURA 47 - Estrutura dos nióbio-tantalatos	190
FIGURA 48 - Valores de densidade relativa de 24 amostras de nióbio-tantalatos pertencente a 13 lavras do Campo Pegmatítico de Marilac	194
FIGURA 49 - Lavras do Campo Pegmatítico de Marilac com as ocorrências dos nióbio-tantalatos	197
FIGURA A - Relação Nb/Ta dos nióbios-tantalatos dos pegmatitos do Campo de Marilac ..	222b
FIGURA B - Relação Nb/Ta dos nióbios-tantalatos dos pegmatitos do Campo de Marilac ..	222b
FIGURA C - Relação Nb/Ta dos nióbios-tantalatos dos pegmatitos do Campo de Marilac ...	222c
FIGURA 50 - Relações $\text{Ta}/(\text{Ta}+\text{Nb}) \times \text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})$, $(\text{Ta}+\text{Nb}) \times (\text{Mn}+\text{Fe})$ e $(\text{Ta}+\text{Nb}) \times (\text{Sn}+\text{Ti})$ de diversos pegmatitos do Campo de Marilac	222d
FIGURA 51 - Diagrama $c_0 \times a_0$ de ordem-desordem de nióbio-tantalatos dos diversos corpos da área estudada	223
FIGURA 52 - Relação entre a cota e o tipo de pegmatito	230
FIGURA 53 - Outro perfil com uma variação de 10° em relação a Figura anterior	230
FIGURA 54 - Variação na complexidade dos corpos em relação à distância de um granito cogenético	231
FIGURA 55 - Variação na composição química dos feldspatos pertencentes aos pegmatitos do Campo de Marilac	233
FIGURA 56 - Relação entre a razão K/Rb e a quantidade em Ga das micas das lavras do Campo de Marilac	234

FIGURA 57 - Relação entre a razão K/Rb e a quantidade em Cs das micas das lavras do Campo de Marilac	235
FIGURA 58 - Relação Na/Li versus Cs(%) de vários cristais de berilo do Campo de Marilac	238
FIGURA 59 - Relação Na/Li versus Cs(%) de vários cristais de berilo da Província Pegmatítica Oriental	238
FIGURA 60 - Seção vertical esquemática através de um sistema zonado granito fértil com pegmatito	245

ÍNDICE DE TABELAS

	pág.
TABELA 1 - Localização geográfica das várias lavras pertencentes ao Campo de Marilac, Distrito Pegmatítico de Governador Valadares, situadas na Folha Cartográfica de Marilac do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)	6
TABELA 2 - Trabalhos geológicos da região de Governador Valadares	13
TABELA 3 - Relação das principais bases cartográficas utilizadas no trabalho de campo e na confecção de mapas constante neste exemplar	18
TABELA 4 - Quadro sinóptico das principais atividades que estão sendo desenvolvidas em diversos laboratórios de diferentes universidades	20
TABELA 5 - Relação das lavras estudadas na região do Campo de Marilac, com as respectivas amostras coletadas nos corpos pegmatíticos, juntamente com os minerais selecionados para estudo	22
TABELA 6 - Análises químicas do granito Açucena	56
TABELA 7 - Classificação dos pegmatitos graníticos	67
TABELA 8 - Associações mineralógicas encontradas nas diferentes zonas pegmatíticas	69
TABELA 9 - Abundância de elementos químicos nas famílias LCT e NYF	70
TABELA 10 - Dados de fracionamento de elementos químicos	70
TABELA 11 - Características identificadoras dos granitos tipo I e S	79
TABELA 12 - Características identificadoras dos granitos à magnetita, ou tipo I e à ilmenita, ou tipo S	79
TABELA 13 - Características identificadoras dos granitos tipo 1 (tipo S ou à ilmenita) e tipo 2 (tipo I ou à magnetita)	80
TABELA 14 - Características geológicas do Distrito Pegmatítico de Governador Valadares ..	84
TABELA 15 - Características gerais dos pegmatitos do Campo de Marilac	89
TABELA 16 - Fichas descritiva de feldspatos	98
TABELA 17 - Análises químicas de 190 amostras de feldspatos pertencentes a pegmatitos do Campo de Marilac	101
TABELA 18 - Algumas razões químicas, com valores extremos, dos feldspatos analisados do Campo de Marilac	115
TABELA 19 - Relação de densidade de cristais de feldspatos do Campo de Marilac	118
TABELA 20 - Bandas de absorção no infravermelho de alguns elementos presentes no	

feldspato do Campo de Marilac	120
TABELA 21 - Uso industrial do feldspato através dos vários períodos da humanidade	124
TABELA 22 - Ensaio tecnológico de queima para uso industrial dos feldspatos	126
TABELA 23 - Especificações do mercado consumidor para a indústria vidreira	127
TABELA 24 - Politipos das micas e características da malha	130
TABELA 25 - Politipos das micas mais comuns com os valores de $d(\text{\AA})$ juntamente com os principais planos (hkl)	131
TABELA 26 - Politipos ideais de cada espécie de micas de ambientes pegmatíticos	131
TABELA 27 - Cella unitária dos politipos das micas do Campo Pegmatítico de Marilac	134
TABELA 28 - Análises químicas de 95 micas de 23 pegmatitos do Campo de Marilac	135
TABELA 29 - Algumas razões geoquímicas de muscovita pertencentes a vários pegmatitos comparados aos valores obtidos para pegmatitos do Campo de Marilac	143
TABELA 30 - Formas de cristais de berilo	153
TABELA 31 - Dados ópticos de 21 cristais de berilo do Campo de Marilac	166
TABELA 32 - Dados de densidade de 21 cristais berilo do Campo de Marilac	167
TABELA 33 - Parâmetros da cela unitária de 49 cristais de berilo pertencentes a 18 pegmatitos da área em estudo, juntamente com a relação c_0/a_0	171
TABELA 34 - Dados químicos de 60 berilo do Campo de Marilac	173
TABELA 35 - Características das formas ordenadas e desordenada da série ferrocolumbita-tantalita	191
TABELA 36 - Amostras de nióbio-tantalatos da região do Campo Pegmatítico de Marilac, Governador Valadares, com suas densidades e minerais associados	192
TABELA 37 - Amostras de nióbio-tantalatos da região do Campo Pegmatítico de Marilac, com % dos óxidos Nb_2O_5 e Ta_2O_5 e dos elementos Nb e Ta juntamente com a relação Nb/Ta	195
TABELA 38 - Análises químicas por MEV de alguns cristais de ferrocolumbita-tantalita do Campo Pegmatítico de Marilac. O número de cátions resultantes foi calculado sobre 24 átomos de oxigênio	198
TABELA 39 - Dados dos parâmetros unitários das várias amostra de nióbio-tantalatos procedentes dos pegmatitos estudados	219
TABELA A - Dados sobre as amostras de nióbio-tantalatos analisadas por microscopia eletrônica de varredura do Campo de Marilac	222
TABELA 40 - Relação dos minerais acessórios dos pegmatitos do Campo de Marilac	226
TABELA 41 - Relação de minerais estudados de alguns pegmatitos da área	240

ÍNDICE DE FOTOGRAFIAS E FOTOMICROGRAFIA

	pág.
FOTOGRAFIA 1 - Vista panorâmica do Pegmatito do Arizio, destacando o relevo típico de quase toda área em estudo	10
FOTOGRAFIA 2 - Vista panorâmica do Pegmatito Ferreirinha	10
FOTOGRAFIA 3 - Vista panorâmica do Pegmatito Ipê	93
FOTOGRAFIA 4 - Vista panorâmica da área do "Sem Terra"	93
FOTOGRAFIA 5 - Interior do Pegmatito do Ipê destacando uma coluna de um único cristal de feldspato pertencente à zona intermediária	97
FOTOGRAFIA 6 - Diâmetro de uma cristal gigante de feldspato	97
FOTOGRAFIA 7 - Cristais métricos de biotita presentes na zona gráfica do Ipê	146
FOTOGRAFIA 8 - Detalhe da fotografia anterior	146
FOTOGRAFIA 9 - Cristais de berilo do Pegmatito Ipê	154
FOTOGRAFIA 10 - Grupo de minerais do Pegmatito da Golconda	154
FOTOGRAFIA 11 - Amostra de nióbio-tantalato exibindo iridescência	193
FOTOGRAFIA 12 - Exemplar de tantalita com diafaneidade translúcida de aspecto avermelhado	193
FOTOMICROGRAFIA 1 - Várias seções de nióbio-tantalatos típicas de zoneamentos composicional e de inclusões	220
FOTOMICROGRAFIA 2 - Várias seções de nióbio-tantalatos típicas de zoneamentos composicional e de inclusões	221

ALGUMAS SIGLAS, ABREVIATURAS E FÓRMULAS DE MINERAIS UTILIZADAS

μ	- micro (10^{-6})	inter.	- intermediária
Å	- angstrom ($10^{-10}\text{m} = 0,1\text{nm}$)	le	- leitoso
a,b,c,d,e	- tipos diferentes	lep	- lepidolita
acin	- acinzentado	li	- lilás
alb	- albita	Ma	- mili ana (10^6), milhões de anos
amb	- ambligonita	mat. alter	- material alterado
amd	- amarelado	min	- mineral
amz	- amazonita	mus	- muscovita
apa	- apatita	n	- nano (10^{-9})
aut	- autunita	Nb/Ta	- ferrocolumbita / tantalita
az	- azul	nd	- não determinado
azc	- azul-claro	oxFe	- óxido de ferro
bav	- bavenita	oxMn	- óxido de manganês
ber	- berilo	PPO	- Província Pegmatítica Oriental
bio	- biotita	pr	- preta
brt	- bertrandita	qua	- quartzo
c. subst.	- corpo de substituição	ro	- róseo
cau	- caulim	s.d.	- sem data
corr	- corroído	tab	- tabular
$d_{\text{H}_2\text{O}}$	- densidade da água	T_e	- temperatura do ponto eutético
$d_{\text{líq.}}$	- densidade do líquido	T_{fg}	- temperatura de fusão do gelo
esv	- esverdeado	$T_{h\text{tot}}$	- temperatura de homogeneização total
fel	- feldspato	tor	- torbenita
fm	- fumê	tr	- traço
Ga	- giga ana (10^9), bilhões de anos	tur	- turmalina
gra	- granada	UTM	- coordenadas (Universal Transversa Mercato)
grf	- gráfica	vd	- verde
her	- herderita		
inc	- incolor		

actinolita	- $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
allanita	- $(\text{Ce}, \text{Ca}, \text{Y})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$
ambligonita	- $(\text{Li}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Fe}^{3+})(\text{PO}_4)(\text{F}, \text{OH})$
anatásio	- TiO_2
andaluzita	- Al_2SiO_5
apatita	- $\text{Ca}_5(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})(\text{PO}_4)_3$
arsenopirita	- FeAsS
autunita	- $\text{Ca}(\text{UO}_2/\text{PO}_4)_2 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$
bavenita	- $\text{Ca}_4\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_9\text{O}_{26}(\text{OH})_2$
bazzita	- $\text{Be}_3(\text{Sc}, \text{Al})_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$
berilo	- $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ – (variedades: água-marinha, esmeralda, heliodoro, morganita, goshenita e bixbita)
berilonita	- NaBePO_4
bertrandita	- $\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2$
bixbyita	- $(\text{Mn}^{3+}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_3$
brasilianita	- $\text{NaAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$
calcita	- CaCO_3
calcopirita	- CuFeS_2
cassiterita	- SnO_2
caulinita	- $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$
cianita	- $\text{Al}_2\text{O}(\text{SiO}_4)$
columbita	- ver ferrocolumbita em nióbio-tantalatos
cordierita	- $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$
corindon	- Al_2O_3
cookeíta	- $\text{LiAl}_4(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH})_8$
crisoberilo	- BeAl_2O_4 – (variedade alexandrita)
diopsídio	- $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$
epididimita	- $\text{NaBeSi}_3\text{O}_7(\text{OH})$
epídoto	- $(\text{Ca}, \text{Ce}, \text{Pb}, \text{Sr}, \text{Y})_2(\text{Al}, \text{Fe}^{3+}, \text{Mn}^{3+}, \text{V}^{3+})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$
escapolita	- $\text{Na}_4\text{Al}_3\text{Si}_9\text{O}_{24}$ (marialita) – $\text{Ca}_4\text{Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}(\text{CO}_3, \text{SO}_4)$ (meionita)
esmectita	- $(\text{Ca}, \text{Li}, \text{Na})_{0,3}(\text{Al}, \text{Cr}^{3+}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Li}, \text{Mg}, \text{Ni}, \text{Zn})_{2-3}(\text{Al}, \text{Si})\text{O}_{10} \cdot n\text{H}_2\text{O}$
espinélio	- MgAl_2O_4
espodumênio	- $\text{LiAlSi}_2\text{O}_6$ – (variedades hiddenita e kunzita)
estauroilita	- $(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Zn})_2\text{Al}_9(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{22}$
euclásio	- $\text{Be}(\text{Al}, \text{OH})\text{SiO}_4$
eucryptita	- LiAlSiO_4
euxenita	- $(\text{Y}, \text{Ca}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Th})(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_2\text{O}_6$

feldspatos	- (K, Na, Ca, Ba, NH ₄ , Sr)(Al, B, Si) ₄ O ₈ (Grupo)
álcali-feldspatos	
	-ortoclásio - (K, Na)AlSi ₃ O ₈
	-amazonita - KAlSi ₃ O ₈
	-microclínio - KAlSi ₃ O ₈
plagioclásios	
	-albita - NaAlSi ₃ O ₈ (cleavelandita - variedade)
	-oligoclásio - (Na, Ca)AlSi ₃ O ₈
	-andesina - (Na, Ca)AlSi ₃ O ₈
	-anortita - CaAl ₂ Si ₂ O ₈
fenaquita	- Be ₂ SiO ₄
fluorita	- CaF ₂
gahnita	- ZnAl ₂ O ₄
grafita	- C
granadas	- (Ca, Fe ²⁺ , Mg, Mn ²⁺) ₃ (Al, Cr ³⁺ , Fe ³⁺ , Mn ³⁺ , Si, Ti, V ³⁺ , Zr) ₂ (SiO ₄) ₃ [Si → Al, Fe ³⁺] -almandina (variedade)
hambergita	- BeBO ₃ (OH)
helvita	- Mn ₄ Be ₃ (SiO ₄) ₃ S
hematita	- Fe ₂ O ₃
herderita	- CaBe(PO ₄)F
hiperstênio	- (Mg, Fe ²⁺) ₂ Si ₂ O ₆
hornblenda	- Ca ₂ (Fe, Mg) ₄ (Al, Fe ³⁺)(Si ₇ Al)O ₂₂ (OH) ₂
ilmenita	- FeTiO ₃
ixiolita	- (Ta, Nb, Sn, Fe, Mn) ₄ O ₈
limonita	- mistura de óxidos hidratados de ferro - FeO(OH)
magnetita	- Fe ²⁺ Fe ³⁺ ₂ O ₄
manandonita	- LiAl ₄ Si ₃ BO ₁₀ (OH) ₈
metaankoleíta	- K ₂ (UO ₂) ₂ (PO ₄) ₂ • 6H ₂ O
micas	- (Ba, Ca, K, Na, H ₃ O, NH ₄)(Al, Cr ³⁺ , Fe ²⁺ , Fe ³⁺ , Li, Mg, Mn ²⁺ , V ³⁺ , Zn) ₂₋₃ (Al, Be, Fe ³⁺ , Si) ₄ O ₁₀ (OH, F) ₂ -anandita (Ba, K)(Fe ²⁺ , Mg) ₃ (Si, Al, Fe) ₄ O ₁₀ (O, OH) ₂ -muscovita KAl ₂ (Si ₃ , Al)O ₁₀ (OH, F) ₂ -flogopita KMg ₃ Si ₃ AlO ₁₀ (F, OH) ₂ -biotita K(Mg, Fe ²⁺) ₃ (Al, Fe ³⁺)Si ₃ O ₁₀ (OH, F) ₂ -lepidolita K(Li, Al) ₃ (Si, Al) ₄ O ₁₀ (F, OH) ₂ -zinnwaldita K(Li, Fe ²⁺ , Al) ₃ (AlSi ₃)O ₁₀ (F, OH) ₂

microlita	- $(\text{Ca}, \text{Na})_2\text{Ta}_2\text{O}_6(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$
milarita	- $\text{K}_2\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Be}_4\text{Si}_{24}\text{O}_{60} \cdot \text{H}_2\text{O}$
molibdenita	- MoS_2
monazita	- $(\text{Ce}, \text{La}, \text{Th})\text{PO}_4$
nióbio-tantalatos	-ferrocumbita $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6$ -ferrotantalita $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6$ -manganocumbita $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{Nb}_2\text{O}_6$ -manganotantalita $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{Ta}_2\text{O}_6$
parisita	- $\text{Ca}(\text{Ce}, \text{La})_2(\text{CO}_3)_3\text{F}_2$
petalita	- $\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$
pirita	- FeS_2
piroxênio	- $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{Mg}, \text{Fe}^{2+})(\text{Mg}, \text{Fe}^{3+}, \text{Al})\text{Si}_2\text{O}_6$
pirrotita	- FeS ou Fe_{1-x}S
plumbomicrolita	- $\text{PbAl}_3(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_5 \cdot \text{H}_2\text{O}$
polucita	- $(\text{Cs}, \text{Na})_2\text{Al}_2\text{Si}_4\text{O}_{12}$
quartzo	- SiO_2
rhodizita	- $(\text{Ca}, \text{K})\text{Al}_4\text{Be}_4(\text{B}, \text{Be})_{12}\text{O}_{28}$
romanechita	- $\text{BaMn}^{2+}\text{Mn}^{4+}_8\text{O}_{16}(\text{OH})_4$ – (conhecida também como psilomelana)
rutilo	- TiO_2
samarkita	- $(\text{Y}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Fe}^{3+})_3(\text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti})_5\text{O}_{16}$
scheelita	- CaWO_4
sillimanita	- Al_2SiO_5 – (variedade fibrosa - fibrolita)
simpsonita	- $\text{Al}_4(\text{Ta}, \text{Nb})_3\text{O}_{13}(\text{OH}, \text{F})$
tantalita	- ver nióbio-tantalatos
titanita	- $\text{CaTiSiO}_4(\text{O}, \text{OH}, \text{F})$ (variedade - leucoxênio)
topázio	- $\text{Al}_2\text{SiO}_4(\text{F}, \text{OH})_2$
torbenita	- $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2(\text{PO}_4)_2 \cdot 8-12\text{H}_2\text{O}$
tremolita	- $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe}^{2+})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$
trifilita	- $\text{LiFe}^{2+}\text{O}_4$
turmalinas	- $(\text{Ca}, \text{K}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Fe}^{2+}, \text{Fe}^{3+}, \text{Li}, \text{Mg}, \text{Mn}^{2+})_3(\text{Al}, \text{Cr}^{3+}, \text{Fe}^{3+}, \text{V}^{3+})_6(\text{BO}_3)_3\text{Si}_6\text{O}_{18}$ ($\text{O}, \text{OH}, \text{F}$) ₄ (variedades: dravita, elbaíta, schorl)
uranomicrolita	- $(\text{U}, \text{Ca}, \text{Ce})_2(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_6(\text{OH}, \text{F})$ (conhecida também como djalmaíta)
wodginita	- $(\text{Ta}, \text{Nb}, \text{Sn}, \text{Mn}, \text{Fe})_{16}\text{O}_{32}$
wolframita	- $(\text{Fe}, \text{Mn})\text{WO}_4$
xenotímio	- YPO_4
zircão	- ZrSiO_4 (conhecida também como zirconita)

RESUMO

A região de estudo deste trabalho, Campo Pegmatítico de Marilac (CPM), localiza-se a 25km NW da cidade de Governador Valadares, em Minas Gerais. Ela está inserida no Distrito Pegmatítico de Governador Valadares (DPGV), um dos segmentos da grande Província Pegmatítica Oriental do Brasil (PPOB). Essa província possui uma forma lenticular alongada no sentido NS, embora sua maior parte esteja localizada no Estado de Minas Gerais, e seus limites situam-se nos Estados do Rio de Janeiro, Espírito Santo e Sul da Bahia. A PPOB é produtora de minerais industriais, sendo a principal região de minerais-gemas do País e, ao mesmo tempo, uma das principais províncias gemológicas do mundo no tocante à variedade e volume de minerais gemológicos produzidos.

O Campo Pegmatítico de Marilac possui cerca de uma centena de pegmatitos, dos quais 44 foram selecionados para estudo. Foram amostrados cristais de feldspatos, micas, berilos e nióbio-tantalatos de várias zonas dos pegmatitos. Quanto à estrutura dos corpos, estes são zonados simples ou complexos, sendo que suas dimensões médias estão entre 10 a 20m de espessura e 20 a 100m de comprimento. As formas mais comuns dos pegmatitos são lenticulares, seguidas das tabulares, sendo estes corpos encaixados de maneira concordante, em sua maioria, em xistos da Formação São Tomé do Grupo Rio Doce que, estruturalmente, foi deformado de maneira complexa e metamorfizado no facies anfíbolito.

A mineralogia essencial é constituída por microclínio pertitizado, às vezes amazonita, quartzo (hialino, fumê, róseo e leitoso), muscovita e albita. Os minerais acessórios são: biotita, berilo [escória (berilo industrial), água-marinha, morganita e goshenita], granada (almandina, espessartina), nióbio-tantalatos e turmalinas (pretas, verdes, azuis e róseas), sendo que a complexidade mineralógica aumenta segundo à direção SW-NE da área.

Os feldspatos que ocorrem nestes pegmatitos são microclínio macropertitizado ($\text{Or}_{97,07-77,57}\text{Ab}_{22,12-2,88}\text{An}_{0,82-0,05}$) e albita ($\text{Ab}_{98,97-77,04}\text{Or}_{17,84-0,74}\text{An}_{9,82-0,33}$), muitas vezes cleavelandita. As análises químicas de 190 amostras de feldspatos deste campo pegmatítico apresentaram razões de K/Rb, K/Cs, Rb/Cs, Ba/Sr, Rb/Sr, K/Ba e Ba/Sr que, em sua quase totalidade, correspondem, a pegmatitos potássicos na classificação de Lopes Nunes. Os dados do gráfico K/Rb versus Rb, comparados à distribuição geográfica dos pegmatitos, mostraram uma tendência não linear do aumento do grau de diferenciação destes corpos na direção SW-NE, sendo que a Lavra do Escondido foi a que apresentou maior concentração em elementos alcalinos raros. Utilizando o gráfico K/Rb versus Cs de Morteau & Gaupp, pôde-se classificar os corpos pegmatíticos do Campo de Marilac como elementos raros, não mineralizados em tântalo. Na área estudada destacam-se três núcleos de pegmatitos com maior grau de diferenciação. Nestes núcleos, os

valores, para as razões citadas acima, são similares aos dos pegmatitos do tipo berilífero da classe a elementos raros como discute Cerný, enquanto a maioria se enquadra na classe muscovítica.

Utilizando-se as razões $K/Rb \times Cs$ e $K/Rb \times Li$ para as micas, mais de 60% dos corpos são identificados com muscovíticos ou muscovíticos complexos das classes à muscovita e a elementos raros, respectivamente, quando classificados segundo diagrama de Cerný & Burt. Para a razão $K/Rb \times Ti$, os pontos caíram em áreas semelhantes àquelas ocupadas por pegmatitos dos tipos berilo-columbita e potássico de Lopes Nunes. Desta forma, os corpos analisados neste trabalho constituem um grupo de transição entre os indicados pelos autores anteriormente citados. Utilizando os diagramas $K/Rb \times Ba$ e $K/Rb \times Ga$, e baseando-se no trabalho de Cerný & Burt, 60% dos corpos foram classificados como do tipo berilo-columbita, ocorrendo ainda alguns da classe muscovita e outros do tipo lepidolita. Nestes diagramas parece haver necessidade de expansão do campo referente ao tipo berilo-columbita, pois a maioria dos pontos referentes às micas do Campo de Marilac caiu sobre o limite do campo do tipo lepidolita, não havendo, entretanto, correspondência entre os teores em Li da muscovita e este campo, bem como a correspondente assembléia mineral. Ainda em relação as micas, as razões K/Rb ; K/Cs ; Rb/Cs ; Rb/Sr e Li/Cs representam pegmatitos de baixo a médio grau de diferenciação. Segundo Cerný & Burt, todas as tendências ilustradas nos diversos diagramas exibem continuidade no fracionamento dos elementos traço, desde muscovita, passando por muscovita litinífera até lepidolita.

Quanto ao berilo, não foi encontrado o politipo octaédrico. Os politipos *n* e os de transição perfazem $\approx 25\%$ das amostras. Os politipos *t* do tipo 2, pobres em álcalis raros, correspondem a $\approx 60\%$ e o *t* do tipo 1, $\approx 15\%$, sendo encontrados nos pegmatitos do Escondido, Jonas Lima II e José Pereira ("Sem Terra"). A relação entre Li_2O e BeO salienta a substituição do Be por Li no sítio tetraédrico, bem como o fracionamento ocorrido durante a cristalização das diferentes zonas. As variedades de berilo mais abundantes são industrial (escória), água-marinha e morganita muito clara, respectivamente em ordem de abundância. A partir da relação entre Na/Li versus $Cs(\%)$ dos cristais de berilo, lançados no diagrama de Trueman & Cerný, pôde-se observar que há, predominantemente, uma transição entre dois tipos principais de pegmatitos no Campo de Marilac. O mais abundante é do tipo A, estéril, portador de Be, Nb, Ta e pobre em álcalis raros; o outro do tipo B mostra enriquecimento nestes últimos elementos. A razão $Li \times Cs$ exibe uma tendência de crescimento, que relacionada à posição geográfica dos corpos, mostra um aumento de sudoeste para nordeste da área de ocorrência. Esta tendência pode ser indicativa da direção do fracionamento do fluido. A maioria dos diagramas de infravermelho mostrou água do tipo I predominando sobre a do tipo II, ocorrendo ainda CO_2 e, raramente, CH_4 . O N_2 foi

detectado por espectroscopia micro-Raman como um dos componentes da fase gasosa presente nas inclusões fluidas dos berilos. Estudos, por microscopia nas amostras de berilo do pegmatito do Ipê, das zonas gráfica e intermediária e de um corpo de substituição desse pegmatito, revelaram a presença de um grande número de inclusões fluidas. Pelo estudo microtermométrico, os dados das temperaturas eutéticas sugerem uma evolução dos fluidos a partir de sistemas inicialmente compostos por Na^+ , K^+ , com possíveis quantidades de Fe^{2+} e de Fe^{3+} , para soluções mais ricas em cálcio.

Finalmente, quanto aos nióbio-tantalatos, a densidade destes varia entre 5,69 e 7,82, sendo que 4,16% das amostras correspondem à composição de ferrocolumbita, 54,17% de tântalo-columbita, 25% de columbo-tantalita e 16,67% de tantalita na porção NE da área. Valores de c_0/a_0 dos parâmetros de cela unitária das 29 amostras lançados no diagrama de Cerný e colaboradores, permitiram classificá-las, em sua maior parte, como ferrocolumbitas ordenadas com graus diferentes de ordenação, sugerindo proximidade com algum possível corpo granítico, sem contudo obedecer a uma direção definida na área. Manganotantalitas são raras. As amostras apresentam zoneamento composicional detectado por meio da difração de raios X e confirmado pelas análises de seções polidas em microscopia eletrônica de varredura. Também foram identificadas inclusões nesses nióbio-tantalatos de cassiterita, ixiolita, romanechita, wodginita entre outros. Os pegmatitos do Campo de Marilac mostraram razões $\text{Ta}/(\text{Ta}+\text{Nb})$ e $\text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})$, respectivamente, dentro dos intervalos 0,25 a 0,80 e 0,18 a 0,26. A maioria das amostras apresenta valores maiores de Nb do que Ta ($\text{Nb} \geq \text{Ta}$), indicando que os pegmatitos pertencem à classe muscovítica, ou à classe elementos raros, subclasse muscovítica, sendo que o teor de tântalo aumenta da mesma maneira que a complexidade mineralógica da área numa direção de SW para NE, porém não de uma maneira linear.

Com relação aos aspectos econômicos, dentre os minerais estudados para esta Tese, somente os feldspatos foram estudados para este fim por serem os de maior interesse econômico. Apenas alguns feldspatos são piroexpansíveis e os testes de queima até 1.200°C exibiram cor branca para os cones de prova. Estas características, indicam que eles podem ser utilizados na indústria de vidros de um modo geral. Outros minerais, como as turmalinas e berilo, quando ocorrem limpos e transparentes, são destinados ao emprego gemológico.

Sob o aspecto geoquímico, as diversas razões químicas dos minerais estudados mostraram uma evolução de SW para NE na área. O enquadramento dos pegmatitos do Campo de Marilac, na classe pegmatítica a elementos raros, implica em que estes corpos correspondam a resíduos derivados de granitos orogenéticos, por fracionamento ígneo a partir de uma fonte ígnea localizada a SW da área, sendo o granito Açucena a provável fonte.

ABSTRACT

Mineralogical and geochemical studies of the Marilac Pegmatitic Field (MPF) were performed with the objective of characterizing its geochemistry and genesis. The MPF is located in the central portion of the huge "Província Pegmatítica Oriental do Brasil". This province is situated mostly in Minas Gerais state following an NS trend, and covers the states of Bahia, Espírito Santo, and Rio de Janeiro. The province referred to above is a classic worldwide producer of gem minerals that include several varieties of tourmaline, spodumene, topaz and rare gemstones such as hercynite, phenakite and euclase among others. The MPF has around one hundred pegmatite bodies of lenticular or tabular shape and dimensions between 20 and 100 meters. The pegmatite bodies are concordant with the mica schist of the São Tomé Formation (Rio Doce Group). This lithologic unit underwent metamorphism of the amphibolite facies.

The study of the mineralogical composition of the pegmatite bodies revealed that the main phases are perthitic microcline, which may occur in the form of amazonite, quartz in different varieties (hyaline, smoked, pinky, and milky), muscovite, and albite. The following accessory minerals were also identified: biotite, beryl (including industrial beryl and its gemological varieties: aquamarine, morganite and goshenite), garnet (almandine and spessartine), Nb-tantalate minerals, and tourmalines (dark, green, blue and pink).

Within the feldspar group the following minerals were identified: macropertitic microcline ($\text{Or}_{97,07-77,57}\text{Ab}_{22,12-2,88}\text{An}_{0,82-0,05}$), albite ($\text{Ab}_{98,97-77,04}\text{Or}_{17,84-0,74}\text{An}_{9,82-0,33}$), and less frequently cleavelandite. The K/Rb, K/Cs, Rb/Cs, Ba/Sr, Rb/Sr, K/Ba and Ba/Sr ratios of 190 samples showed that the pegmatite bodies are potassic in composition according to the Lopes Nunes classification. Considering the K/Rb ratio versus Rb diagram the pegmatite bodies display a non-linear chemical differentiation along the SW-NE direction. Based on the K/Rb ratio versus Cs diagram the MPF pegmatite bodies can be classified as Ta-absent, and rare element-bearing type according to the Morteau & Gaupp classification.

Three groups of more differentiated pegmatite bodies have been observed in the MPF. These bodies can be classified as beryl-type and rare element class of the Cerný classification. The majority, however, belongs to the muscovitic class of the same classification.

Concerning mica, the K/Rb ratio versus Cs, and K/Rb ratio versus Li diagrams showed that 60% of the pegmatite bodies are muscovitic or complex muscovitic belonging to the rare element class of the Cerný & Burt classification. The K/Rb ratio versus Ti diagram suggest that the pegmatite bodies belong to the potassic, and beryl-columbite types of the Lopes Nunes classification. Therefore, the MPF pegmatite bodies seem to be transitional between the groups proposed by the authors referred to above. The K/Rb ratio versus Ba, and K/Rb ratio versus Ga

diagrams show that 60% of the pegmatite bodies are beryl-columbite type. Subordinately occur the muscovite class and lepidolite type. As for K/RB, K/Cs, Rb/Cs, Rb/Sr, and Li/Cs ratios the data suggest that most of the pegmatite bodies show low to medium differentiation.

The industrial variety of beryl is the most common in the study area. Minor occurrences of aquamarine, morganite, and goshenite are also found. The beryl polytypes do not include the octahedral polytype. The *n* and the transition polytypes make up 25% of the samples. The *t* polytype of type 2, which is poor in rare alkaline elements represent 60% whereas the *t* polytype of the type 1 corresponds to 15%. The $\text{Li}_2\text{O}/\text{BeO}$ ratio indicates the substitution degree of Be by Li inside the tetrahedral site. The Na/Li ratio versus Cs diagram shows that, in the study area, there is a clear transition between the A and B groups of the Trueman & Cerný classification. The A type is mineralized in Be, Nb, and Ta and it is poor in rare alkaline elements. The B type is rich in rare alkaline elements. Infrared spectroscopy of beryl revealed the presence of I-type water and minor occurrences of II-type water, CO_2 and CH_4 . Nitrogen was detected by micro-Raman spectroscopy in fluid inclusions of some beryl crystals.

Nb-tantalate minerals have densities ranging from 5.69 to 7.82. Tantalum-columbite, columbium-tantalite, tantalite, and iron-tantalite correspond to 54.17%, 25%, 16.67%, and 4.16% of the samples, respectively. The plotting of the c/a_0 ratio of the unit cell parameters for 29 samples revealed the existence of an ordered structure for most of them. This result in combination with the chemical data of the minerals referred to above suggest the proximity of a possible granitic intrusion in the study area. Mn-tantalite minerals are rare in the area. Inclusions of cassiterite, ixiolite, romanechite, wodginite have been identified. The $\text{Ta}/(\text{Ta}+\text{Nb})$ and $\text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})$ ratios range from 0.25 to 0.80 and from 0.18 to 0.26, respectively. Nb contents are usually higher than the Ta contents, and they indicate that the pegmatite bodies of the study area belong either to the muscovitic class or the rare element class. Both the Ta content and the mineralogical complexity increase non-linearly from SW to NE in the study area.

Feldspars were studied in relation to their use and applications. Currently they may present some economic interest among all minerals that were analyzed. Some feldspars are pyro-expansible and, when submitted to temperatures as high as $1,200^\circ\text{C}$ they become white. Such characteristics suggest that they can be used in the glass industry. Other minerals such as tourmaline and beryl may have gemologic applications.

Mineralogical and chemical data showed that the MPF pegmatite bodies belong to the rare element class in the classification proposed by Cerný and collaborators. Therefore, it is almost certain that those pegmatite bodies are derived from orogenic granites. Field relations showed that the Açucena granite, which outcrops in the SW portion of the study area, seems to be the most probable source for the pegmatitic mineralizations.

AGRADECIMENTOS

"Agradecer é admitir que houve um momento em que se precisou de alguém e reconhecer que o homem nunca poderá alcançar para si o dom de ser auto-suficiente."

Ao concluir esta Tese, desejo expressar os meus agradecimentos às entidades e pessoas que colaboraram para a sua realização.

Primeiramente, agradeço o Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO/EM/UFOP) o afastamento concedido e aos colegas que supriram minha carga horária; à Coordenadoria de Pesquisa e Pós-Graduação da UFOP e ao Programa Institucional de Capacitação Docente e Técnica - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (PICDT/CAPES) pela concessão de uma bolsa de pesquisa; ao Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa (CPMTC) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), ao Centro de Conservação e Restauração da Escola de Belas Artes da Universidade Federal de Minas Gerais (CECOR/EBA/UFMG) e ao Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas da Universidade Federal de Minas Gerais (DF/ICEx/UFMG), ao Departamento de Minas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (DEMIN/EE/UFMG), a L'Ecole des Mines de Paris à Fontainebleau pelo uso dos laboratórios analíticos e finalmente, às empresas mineradoras detentoras dos pegmatitos estudados. Sem o apoio dessas entidades este trabalho não poderia ter sido realizado.

Agradeço ao Prof. Dr. Darcy Pedro Svisero, orientador desta Tese, a ajuda e incentivo durante a realização deste trabalho.

Agradecimentos especiais são devido à Prof^a Dr^a Vitória Régia Péres da Rocha Oliveiros Marciano do CPMTC/IGC/UFMG, pela sua incansável disposição na ajuda na interpretação de dados, além das inúmeras idas ao campo. Agradeço também pela obtenção dos dados no microscópio eletrônico de varredura, nos nióbio-tantalatos, na Escola de Engenharia da UFMG.

Agradecimentos especiais são devidos também ao Prof. Dr. Júlio César Mendes do DEGEO/EM/UFOP, pelas discussões apresentadas.

À estimada Dr^a Rosa Maria da Silveira Bello, responsável pelo Laboratório de Inclusões Fluidas do DMP/IGc/USP, a incansável ajuda na obtenção e interpretação dos dados microtermométricos, bem como as sugestões e críticas ao trabalho.

Aos professores doutores João Batista Moreschi e José Barbosa de Madureira Filho pelas críticas e sugestões apresentadas no exame de qualificação.

Aos professores doutores Hermínio Arias Nalini Júnior (DEGEO/EM/UFOP) e Maria Lourdes Souza Frenandes (CPMTC/IGC/UFMG) a ajuda do programa Minpet e no tratamento dos dados referentes aos granitos.

Agradeço ao Dr. Kazuo Fuzikawa do CDTN/CNEN/BH a obtenção das análises de espectroscopia micro-Raman no DF/ICEx/UFMG.

Ao Professor Dr. Luiz Antônio Cruz Souza do CECOR/EBA/UFMG pela obtenção dos espectros de absorção no infravermelho.

Ao Professor Dr. Paulo Roberto Gomes Brandão e a técnica Sandra Cristina Estevão Machado Teixeira do DEMIN/EE/UFMG pela obtenção das análises dos nióbio-tantalatos no MEV.

Ao Professor Dr. Essaïd Bilal da L'Ecole des Mines de Saint Etienne, a ajuda na obtenção dos dados de microsonda eletrônica nas amostras de granito.

Agradeço aos técnicos Vanderlei Ferreira de Souza e Silva (DEGEO/EM/UFOP) e Flávio Machado de Souza Carvalho (DMP/IGC/USP) e aos alunos de graduação do DEGEO/EM/UFOP Rafael José de Barros e Santos e Rafael Cota Romano, a ajuda pela obtenção dos difratogramas de raios X e pela utilização de programas computacionais.

De um modo especial, agradeço à equipe do Laboratório de Computação Científica (LCC) do DEGEO/EM/UFOP na pessoa de Moacir Pereira Barros e à Beatriz Moyle Baêta do Centro de Editoração Eletrônica (CEEL), nas inúmeras ajudas no uso de programas de informática e serviços laboratoriais, e a última, a impressão final deste trabalho.

Não poderia deixar de agradecer, também de forma especial, aos proprietários dos pegmatitos e aos funcionários a imprescindível colaboração em várias etapas deste trabalho, quer na obtenção de amostras e quer nas informações técnicas fornecidas ao longo da pesquisa.

Igualmente muito importante foi a ajuda prestada pelos funcionários do DEGEO/EM/UFOP. À Mara Nei Mesquita Teodoro Faria e a Rosilene Pedrosa Gomes a parte administrativa/burocrática e ao Paulo Gonzaga de Lima as lâminas delgadas confeccionadas.

Acrescentam ainda os meus sinceros agradecimentos à Maristela Prestes Severino do IGC/USP, a sua incansável paciência e dedicação na correção das referências bibliográficas.

Agradeço aos técnicos/administrativos Kácia Maria Moraes Monteiro, Robson Cota de Oliveira, Nívia Regina Vitalino de Melo, Quênia Júnia de Oliveira, Venceslau Rodrigues dos

Santos, Maria Cristina Teixeira e Adélia Fátima da Fonseca do CPMTC/IGC/UFMG pelas análises realizadas e trabalhos burocráticos prestados.

Agradeço também aos bolsistas do CPMTC/IGC/UFMG, Ricardo Augusto Scholz Cipriano, Humberto Alves da Silva e Leonardo de Moraes Soares, pela ajuda prestada na preparação das amostras e obtenção de alguns dados analíticos.

Aos mestrandos do IGC/UFMG Adriana Borreli Achtschin pela comparação de alguns dados mineralógicos e uso de programas de informática e Marcio Aleixo Kahwage pelo tratamento gráfico dos dados de absorção no infravermelho dos minerais pesquisados.

Agradeço ao Prof. Dr. José Thomaz Gama da Silva pela revisão do Abstract.

As amigas Ana Paula Cabanal e Magali Poli Fernandes Rizzo do IGc/USP pelo apoio administrativo e apoio logístico.

A todos os colegas do DEGEO/EM/UFOP, aos colegas dos vários cursos do IGc/USP e a todos de outras instituições e localidades que colaboraram e participaram direta e indiretamente na execução deste trabalho, meu muito obrigado. Desculpem-me se me esqueci de alguém.

Não existem palavras que possam expressar meus sinceros sentimentos de eterna gratidão pela ajuda e compreensão de minha esposa, filhos, mãe, irmãos e tia por toda fase decorrida durante este trabalho, pelos infindáveis momentos que o tempo passou e que jamais serão repostos. A todos, **MEU MUITO OBRIGADO**.

1 - INTRODUÇÃO

O interesse pelo conhecimento dos pegmatitos tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, por serem a fonte da maioria dos metais raros, minerais industriais e minerais-gemas. Uma das principais preocupações ao se descobrir um pegmatito, é saber se, além dos minerais essenciais, quartzo, feldspato e/ou mica, existem outros de importância econômica nos dias atuais. Desta maneira, é fundamental um bom conhecimento das características geoquímicas dos minerais constituintes, pois através da interação do quimismo de certos minerais, é possível saber se o pegmatito possui mineralizações importantes, independentemente de serem homogêneos, heterogêneos, simples e/ou complexos. Entre esses minerais destacam-se os feldspatos, as micas, os nióbio-tantalatos e o berilo, sendo que estes dois últimos constituem excelentes indicadores petrogenéticos de mineralizações pegmatíticas (Cerný 1991a).

De um modo geral nem todos pegmatitos possuem grandes reservas de minerais economicamente importantes, os que se destacam são os complexos, ácidos, zonados e ricos em elementos raros. Estes pegmatitos estão geralmente relacionados a corpos graníticos muito diferenciados, originados principalmente nas fases finais da evolução magmática destes corpos.

O Brasil representa uma importante fonte mundial de metais raros, como por exemplo, berílio, lítio e tântalo. Estes metais raros são explorados principalmente na Província Pegmatítica Oriental, destacando-se as regiões do Jequitinhonha e Rio Doce, ambas em Minas Gerais.

A Província Pegmatítica Oriental é a principal região produtora de minerais-gemas do Brasil, constituindo sozinha uma das principais províncias gemológicas do mundo. Os depósitos estão localizados, principalmente, na região nordeste de Minas Gerais, prolongando-se pelo sul da Bahia e oeste do Espírito Santo. Entre os principais minerais-gemas explorados destacam-se água-marinha, turmalinas, crisoberilo, kunzita, hiddenita, andaluzita e granadas entre outros, sendo alguns considerados entre os melhores do mundo. Além desses minerais-gemas mais importantes, os pegmatitos desta província produzem uma série de minerais industriais e de minerais-gemas menos comuns sem similares em nenhum outro local, podendo ser mencionados

dentre outros o euclásio, a fenaquita, a alexandrita, a titanita, a escapolita, a brasilianita, a petalita, a amblygonita, a hercynita e outros menos conhecidos (Svisero & Franco 1987).

Apesar da notoriedade de todas essas jazidas, a literatura geológica é relativamente limitada no que diz respeito a estudos mineralógicos e geológicos dos pegmatitos do Campo de Marilac. Nas duas últimas décadas, vários pesquisadores nacionais demonstraram sensibilidade pelo problema que passou a ser discutido nos últimos eventos científicos. Nessas reuniões, ainda, pode-se observar que estes depósitos possuem um potencial que pode ser superior aos de outras jazidas tradicionais e que portanto, precisam ser estudados detalhadamente do ponto de vista geológico.

Entre os minerais-gemas dessa província, destacam-se as variedades gemológicas do berilo, que figuram entre as mais valorizadas da atualidade. Dentre essas destacam-se a água-marinha (berilo azul celeste), a morganita (berilo róseo), o heliodoro (berilo amarelo) e a goshenita (berilo cinza/incolor).

Em função desses fatores e considerando que o berilo e os nióbio-tantalatos são minerais relativamente abundantes nos pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental, pretende-se no decorrer desta Tese de Doutorado caracterizar do ponto de vista mineralógico e químico tanto os referidos minerais como as fases mineralógicas a eles associadas, com destaque para os feldspatos e as micas. Com o intuito de conhecer a evolução, a possível gênese e a potencialidade econômica destes corpos, foram selecionados 44 pegmatitos, sendo que 23 deste foram amostrados para esses estudos. Todos os corpos fazem parte do Campo Pegmatítico de Marilac, Distrito Pegmatítico de Governador Valadares, pertencente à Província Pegmatítica Oriental.

Este trabalho é parte de um Projeto de Pesquisa maior, financiado pela FINEP, em execução no CPMTC/IGC/UFGM, que aborda o cadastramento e o estudo mineralógico, geoquímico, genético, bem como a potencialidade econômica dos pegmatitos que ocorrem na faixa entre Sabinópolis e Governador Valadares, Minas Gerais.

1.1 - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DA ÁREA E VIAS DE ACESSO

A área objeto deste estudo está situada no Município de Governador Valadares, noroeste da capital do Estado, podendo ser alcançada facilmente a partir de Belo Horizonte pela rodovia BR-262 Belo Horizonte/Vitória (Figura 1). A partir de João Monlevade toma-se a direção de Governador Valadares, principal cidade do vale do médio rio Doce, seguindo-se pela rodovia BR-381 num total aproximado de 320km. Outras formas de se alcançar Governador Valadares incluem a Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA), de Belo Horizonte até Nova Era, e a Estrada de Ferro Vitória-Minas (EFVM), pertencente à Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), de Nova Era até Governador Valadares em viagem direta sem baldeação. Existem também vôos diários para Governador Valadares partindo da capital mineira, além de outras cidades do país.

A área objeto desta Tese está situada a leste da Folha de Marilac (SE.23-Z-B-VI), entre os paralelos 18°40' e 18°50' de latitude sul e os meridianos 42°00' e 42°10' de longitude oeste, correspondendo a uma superfície de aproximadamente 80km². A Figura 2 mostra a área geográfica ocupada pelos corpos pegmatíticos e as principais vias de acesso. A área pode ser alcançada partindo-se da cidade de Governador Valadares e tomando-se a rodovia Rio/Bahia BR-116, no sentido de Salvador, Bahia. Após percorrer 7,5km até o entroncamento para Coroaci, segue-se por uma estrada asfaltada num percurso de 18,8km até o Distrito de Santo Antônio do Pontal. A partir deste distrito, existem inúmeras estradas secundárias não pavimentada que levam aos vários corpos pegmatíticos em estudo. Outra maneira é ir pela mesma estrada (BR-116) até o Distrito de Chonim de Baixo, situado a 18km de Governador Valadares em um percurso de aproximadamente 10km em estrada de terra até o povoado de Chonim. Após este último vilarejo, tem-se acesso pela parte norte à área em enfoque. As estradas de terra são razoáveis no período da seca, mas no período das chuvas ficam intransitáveis. Os corpos amostrados portadores de berilo e nióbio-tantalatos localizam-se nas proximidades da sede do município de Governador Valadares. Na Tabela 1 encontram-se as coordenadas UTM de cada uma das lavras estudadas e a Figura 3 exhibe a localização dos pegmatitos na área selecionada para este trabalho.

Figura 1 - Principais acessos a Governador Valadares partindo-se de algumas capitais brasileiras.

Figura 2 - Localização geográfica da área onde se encontram vários corpos pegmatíticos, sendo que, 44 deles foram selecionados para o presente estudo.

Tabela 1 - Localização geográfica das várias lavras pertencentes ao Campo de Marilac, Distrito Pegmatítico de Governador Valadares, situadas na Folha Cartográfica de Marilac do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), referidas em coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator). Os dados da Folha de Marilac são: SE-23-Z-B-VI / MI-2463, escala 1:100.000 e ano de 1980.

Nº	LAVRAS E/OU GARIMPOS	COORDENADA UTM	
		E	N
1	Arizio	802187	7922665
2	Ladinho I	802112	7923158
3	Ladinho II	801838	7923759
4	Pedra Redonda	805308	7923831
5	Cab. Córrego Ferreirinha	805492	7924260
6	Ipê	805100	7925040
7	Ferreirinha II	805017	7926220
8	Ferreirinha III	804946	7926368
9	São Domingos	807492	7924825
10	Crioulo	807619	7925016
11	Ferreirinha I	806370	7926371
12	Olho-de-Gato	806967	7926571
13	Boi	807667	7926512
14	Jonas Lima II (Faria II/Giovani)	807440	7926624
15	Jonas Lima I (Faria I)	807356	7926757
16	Golconda II (Machadão ou Júlio Cipriano)	807417	7927126
17	Jacó	806123	7928467
18	Japonês	808416	7926918
19	Pelé	809660	7927194
20	Grande	810281	7927231
21	Fazenda Japonesa (Sr. Paulo)	810838	7927157
22	Córrego Areião	809933	7928290
23	Golconda III (Edson)	809397	7929079
24	Golconda I (Ailton)	808896	7929895
25	Escondido	809365	7929905
26	Faz. Pedra Azul II	810641	7928589
27	Córrego da Onça	810913	7928490
28	Areião I	809117	7930560
29	Urbano	810503	7930133
30	José Pedra I	811491	7929154
31	José Pedra III	811993	7929078
32	Faz. Pedra Azul I	811771	7929848
33	José Pedra II	812548	7929538
34	Pedra Louça	812429	7929685
35	Zado Imóveis	811379	7933222
36	Toninho (Sem Terra)	812063	7932667
37	Odilon II (Eucalipto)	812051	7932830
38	Monte Claro	813434	7931710
39	Ferrinho	811937	7933270
40	Alberto (Sem Terra)	812413	7933016
41	Rames (Sem Terra)	812349	7933143
42	José Pereira (Sem Terra)	812317	7933270
43	Marcial (Faz. Odilon)	812286	7933460
44	Doca e Helder (Faz. Odilon)	812508	7933270

Figura 3 - Localização geográfica dos corpos pegmatíticos, dos quais 44 deles foram selecionados para estudo.

1.2 - ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

O fator primordial na variação do clima está ligado diretamente ao regime das chuvas, e através de pluviogramas pode-se identificar tipos e variedades climáticas. Assim sendo, utilizou-se a classificação de Köppen (1948, *in* Fontes *et al.* 1978), segundo a qual, o clima da região do vale do médio rio Doce é do tipo 'Aw'. Trata-se de um clima tropical quente e úmido, que apresenta temperaturas bastantes uniformes ao longo do ano, raramente superiores a 30°C. A pluviosidade média situa-se entre 1.250 a 1.500mm por ano. A estação chuvosa estende-se, em geral, de outubro a março e o período de seca, que é bem acentuado, de abril a setembro coincidindo com o inverno com temperaturas entre 15°C e 19°C (Ribeiro 1997).

A vegetação está condicionada a vários fatores, como por exemplo, variações de pluviosidade, de temperatura, de altitude e de solo entre outros. É comum na região a presença de imensas pastagens, surgidas por atividades antrópicas, formadas por capim colônia, uma vez que a atividade econômica mais importante da região é a pecuária. As fazendas de criação de bovinos são destinadas para o abate nos frigoríficos de Governador Valadares. Ainda pode-se observar, em certas áreas, florestas estacional semidecidual, também conhecidas como floresta tropical subcaducifolia, que em condições de menor pluviosidade, caracterizam-se por apresentarem caules delgados e, conseqüentemente, pela maior penetração de luz, uma grande incidência de cipós mais ou menos lenhosos (Fontes *et al.* 1978, Ribeiro 1997). Em menor proporção aparecem na região pequenos pontos de reflorestamento. Praticamente não existe área usada para o cultivo.

Quanto à hidrografia, a região é drenada pela bacia do rio Doce, sendo este formado pela confluência dos rios Piranga e Carmo. A área em estudo é drenada por vários córregos tributários que compõem o rio Suaçuí Pequeno e o Ribeirão da Onça em direção sul da área e, a norte, pelo rio Suaçuí Grande, todos afluentes da margem esquerda do rio Doce. Os principais córregos, que correm na área em estudo, afluentes do ribeirão da Onça são os do Arião, Pedra Azul e São Domingos. Os córregos Ferreirão, Ferreirinha e Correia deságuam no Suaçuí Pequeno. Quanto ao Suaçuí Grande, único que não corta a área, recebe como afluentes os córregos Cassimiro, Chonim de Cima e Chonim de Baixo.

Dependendo do relevo, há um tipo de solo, o qual está ligado diretamente ao tipo da rocha original, além do clima e vegetação da região. O que predomina na região é o solo podzólico vermelho-escuro. Este solo está relacionado aos xistos São Tomé e Tumiritinga em

um relevo suave a moderado. Também ocorre na área um latossolo vermelho-amarelo com uma textura argilosa. Este último, situa-se no domínio de relevo plano a montanhoso (Ribeiro 1997).

A paisagem dominante é representada por extensas planícies aluvionares e morros suaves, em forma de “meia laranja” inseridas na depressão interplanáltica do rio Doce, originadas da dissecação da superfície aplainada pliocênica (Fontes *et al.* 1978). Esta é uma feição típica de quase todo o vale do médio rio Doce (Fotografias 1 e 2). O padrão de drenagem é tipicamente dentrítico, sendo que a curva de nível de 300m representa, de modo geral, a cota média das principais drenagens da área em estudo. A diferença de cota na área está compreendida num intervalo de 200 a 700m.

1.3 - OBJETIVOS DO TRABALHO

A existência de grandes jazidas de minerais-gemas, fez com que a Província Pegmatítica Oriental se tornasse um dos locais mais importante do País, tanto do ponto de vista econômico quanto científico. Contudo, poucos são os trabalhos existentes sobre esta província que tratam de forma integrada da estratigrafia, da geotectônica e da geocronologia, e mais raramente ainda da geoquímica dos diversos minerais-gemas que nela ocorrem.

Desta forma, esta Tese de Doutorado versará sobre questões mineralógicas, geológicas, geoquímicas e econômicas dos feldspatos, micas, berilo, nióbio-tantalatos e demais minerais associados nos corpos pegmatíticos simples e/ou complexos. Esses trabalhos foram efetuados em 44 corpos pegmatíticos diferentes, situados no Campo de Marilac, do Distrito Pegmatítico de Governador Valadares.

Esta área foi escolhida porque ainda não se sabe ao certo a origem dos corpos pegmatíticos, ou seja, se por anatexia ou fracionamento magmático. Desta forma, o objetivo principal é caracterizar cristaloquimicamente os minerais essenciais, feldspatos e micas, e alguns varietais, como berilo e nióbio-tantalatos, que permitem conhecer a evolução interna dos corpos pegmatíticos deste distrito, bem como inferir a potencialidade econômica e provável gênese dos corpos pegmatíticos do Campo de Marilac. Até o presente momento, há pelo menos dez trabalhos específicos publicados que abordam questões relativas aos minerais da área destacando-se os de Barbosa (1944), Wegner (1983a), Correia Neves *et al.* (1984), Marciano (1985), Santos (1985), Correia Neves *et al.* (1986), Achtschin & Marciano (1996), Achtschin *et al.* (1996), Ribeiro (1997)

Fotografia 1 - Vista panorâmica do Pegmatito do Arízio. Observa-se que a frente de lava do pegmatito ocupa uma posição intermediária entre o vale (~200m) e o nível médio regional (~600m). As dimensões do corpo podem ser estimadas pela casa situada no sopé do rejeito proveniente da lavra do pegmatito. Trata-se de um corpo profundamente alterado, exaurido pela extração do caulim.

Fotografia 2 - Vista panorâmica dos Pegmatitos Ferreirinha I (o mais alto), II (o intermediário), e III (atrás do morro, o mais baixo). Muito provavelmente os três corpos constituem um único pegmatito. A morfologia da área também é bem acidentada, com um desnível de, aproximadamente, 100m até a casa situada no vale.

e Banko (1997). Estes trabalhos apresentam diferentes abordagens e métodos de análises, detendo-se alguns em um ou alguns corpos pegmatíticos deste distrito, e outros apresentando análise regional. A Tabela 2 exhibe as características maiores de cada um dos trabalhos. Entretanto, esses trabalhos não incluem tratamentos integrados dos diversos minerais, não correlacionam entre si dados geoquímicos, geológicos e genéticos com informações de campo.

Existem outros trabalhos, apenas descritivos, que citam algumas das lavras presentes na área em estudo, abordando dados históricos, gemológicos ou mesmo mineralógicos sem apresentarem também um tratamento químico, destacando os de Pecora *et al.* (1950a), Pecora *et al.* (1950b), Proctor (1985) e Delaney (1996). Na região de Governador Valadares, os pegmatitos são ricos em feldspatos e micas. No trabalho de Barbosa (1944) estão catalogados várias dezenas de pegmatitos produtores de micas no vale do médio rio Doce. Apesar de apresentar um bom resumo histórico da atividade extrativa dessa área, muito pouco é mostrado sobre a geologia da região e a mineralogia dos corpos pegmatíticos. Na última década, a extração de feldspatos é a mais importante.

A partir dos dados obtidos pela pesquisa bibliográfica realizada sobre o tema na área da Tese, chegou-se às seguintes constatações:

1. cadastramento dos corpos pegmatíticos já levantados aponta para a necessidade de uma análise mais detalhada desta área;
2. há um número significativo de dados mineralógicos e geoquímicos, que precisam ser integrados e observados segundo novas relações entre os elementos químicos. Os gráficos propostos em trabalhos publicados mais recentemente, visando a compreensão metalogenética da área, ainda não foram utilizados;
3. mapeamento geológico executado pela CPRM através do Projeto Leste abre maiores possibilidades de interpretações dos dados obtidos anteriormente;
4. há divergências na determinação da gênese dos pegmatitos do Campo Pegmatítico de Marilac;
5. segundo Cerný & Burt (1984), há um hiato de dados geoquímicos para micas e feldspatos provenientes de pegmatitos cerâmicos e muscovíticos na literatura internacional, que persiste até os dias atuais, e que pode ser sanada por meio de tratamento dos dados existentes nas publicações sobre esta área.

Tendo em vista as questões levantadas nos parágrafos precedentes, os objetivos desta Tese estão delineados a seguir nos itens destacados a seguir.

1. cadastrar os pegmatitos em lavra ou desativados;
2. estudar algumas dezenas de corpos no Campo Pegmatítico de Marilac;
3. identificar as paragêneses minerais nos respectivos corpos;
4. caracterizar o quimismo dos feldspatos, das micas, do berilo e dos nióbio-tantalatos;
5. estabelecer a evolução geoquímica do Campo Pegmatítico de Marilac a partir dos dados obtidos;
6. avaliar o potencial econômico do Campo Pegmatítico de Marilac para a indústria mineral e atividade garimpeira;
7. propor um modelo genético para o campo estudado embasado pelos dados obtidos.

1.4 - ORGANIZAÇÃO DA TESE

Neste primeiro capítulo são apresentados, além da localização geográfica da área e vias de acesso, os objetivos da Tese. Na sequência, apresenta-se, no segundo capítulo, uma síntese dos vários métodos analíticos empregados na obtenção dos dados físicos, como por exemplo, densidade, dados ópticos, difração de raios X, bem como dos dados químicos. Por se tratar de um tema que envolve, principalmente, interpretação geoquímica, foram utilizadas diversas metodologias tais como fluorescência de raios X, fotometria de chama, gravimetria, espectrometria de emissão atômica com plasma indutivamente acoplado (ICP/AES), microsonda eletrônica, microscopia eletrônica de varredura, microtermometria, espectroscopia de absorção no infravermelho e espectroscopia micro-Raman. Trata-se de capítulo importante, uma vez que apresenta uma breve descrição dos fundamentos dos métodos utilizados, bem como a identificação dos equipamentos, as condições analíticas utilizadas e os respectivos laboratórios.

Em seguida é apresentada a geologia regional da área, tendo como base o último trabalho sobre a região que é o Projeto Leste, executado pela CPRM em 1999, juntamente com outros trabalhos clássicos com enfoques distintos sobre dados geológicos. No quarto capítulo é feita uma breve revisão sobre o tema pegmatito, sobre a Província Pegmatítica Oriental Brasileira, apresentando-se no final dados sobre os pegmatitos pertencentes ao Distrito Pegmatítico de Marilac, a maior parte dos quais foram utilizados nesta Tese.

Tabela 2 - Resumo esquemático dos principais trabalhos geológicos referentes aos pegmatitos da região de Governador Valadares, Minas Gerais.

trabalhos	Wegner (1983a) (1)	Correia Neves <i>et al.</i> (1986)	Ribeiro (1997)	Santos (1985)	Marciano (1985) (2)	Achtschin <i>et al.</i> (1996)	Correia Neves <i>et al.</i> (1984)	Achtschin & Marciano (1996)	Banko (1997)
enfoque	dados de cadastramento, associação mineralógica, química e geoquímicas de toda a PPO		Projeto Leste, 13 Folhas; mapeamento e cadastramento de pegmatitos da PPO	cadastramento mineralogia e zoneografia do Campo da Golconda	estudo mineralógico, geoquímico, genético de alguns corpos do Campo de Marilac		utilização do berilo para classificação de pegmatitos		
pegmatitos do Campo de Marilac estudados e dados	4 lavras 68 felds + 15 micas 83 amostras	síntese dos dados de 1 e 2, além de Pedrosa Soares (1994)	mapeamento da região (1:100.000) e cadastramento de 49 pegmatitos, citação da mineralogia	cadastramento de 51 pegmatitos e descrição mineralógica dos constituintes do rejeito	4 lavras com análises de felds, micas, berilos e Nb-Ta	mapeamento em detalhe do Pegmatito Ipê, mineralogia e geoquímica; 5 berilos	cristalóg. e geoquímica da PPO, (análise de 1 berilo do Campo de Marilac)	estudo de berilos de 7 lavras	5 lavras Golconda II e III, Faria, Jove, Ferreirinha,
gênese e/ou classificação	regional - PPO	anatético	- x -	fracionamento ígneo	anatético (muscovita)	fracionamento ígneo	classe muscovítica	classe muscovítica e cerâmica	trabalho com vários ambientes

Nos próximos quatro capítulos (5º, 6º, 7º e 8º), são apresentados os principais grupos minerais, como os feldspatos, as micas, os berilos e os nióbio-tantalatos, respectivamente, que ocorrem nas diferentes etapas de cristalização dos corpos pegmatíticos, cujo quimismo é essencial num tratamento genético como também numa avaliação da potencialidade econômica dos minerais de uso industriais. Além das propriedades físicas, são apresentados e discutidos dados da composição química de cada mineral analisado. No nono capítulo são listados, de forma extremamente simplificada, outros minerais que podem ser encontrados nos diversos pegmatitos estudados, mas que não foram objeto de investigação pormenorizada. Dentro dessa estrutura, o décimo capítulo trata da zoneografia e da geoquímica dos vários pegmatitos estudados, bem como dos aspectos genéticos desses corpos.

No penúltimo capítulo, considerações finais, é apresentado um fechamento dos dados obtidos e interpretados, finalizando-se com as referências bibliográficas consultadas listadas no décimo segundo capítulo.

2 - METODOLOGIA DE ESTUDO

Fazem-se necessárias algumas observações antes de se iniciar a descrição deste capítulo. A coleta de minerais para este trabalho foi dificultada pela ausência de alguns espécimes (os nióbio-tantalatos, por exemplo foram todos doados) nas paredes das galerias em diversos pegmatitos como nos abandonados ou mesmo abatidos, de tal forma que não houve possibilidade de relacioná-la com o posicionamento estrutural do cristal no corpo. Como o objetivo é conhecer cristaloquimicamente algumas fases mineralógicas para poder inferir a evolução interna dos corpos bem como a potencialidade econômica e a provável gênese de um determinado grupo de pegmatitos, o resultado das análises físicas e/ou químicas passa a ter um caráter mais regional do que local. Assim sendo, a coleta *in situ* em um determinado pegmatito não é de importância vital quanto a certeza da procedência de um certo espécime amostrado, pois algumas amostras, como por exemplo, os nióbio-tantalatos foram cedidas pelos garimpeiros ou proprietários das lavras.

Outro ponto muito complexo dessas lavras é que no decorrer dos anos, principalmente quando são vendidas, há geralmente mudanças de nome. Desta forma, é quase que impossível recorrer a literatura no intuito de resgatar alguma informação sobre a região pois, normalmente os trabalhos científicos apresentados em revistas especializadas geralmente são curtos e raramente trazem a localização precisa de uma determinada lavra. Como exemplo de uma dessas confusões, podemos citar o caso do Pegmatito do Jonas, próximo a Conselheiro Pena, famoso pela retirada de várias rubelitas, uma delas de 107cm de comprimento, vendida por US\$ 9,000,000 (Proctor 1985), com o Pegmatito Jonas em Governador Valadares. Ambos pegmatitos pertencem ao mesmo dono e estão inseridos no mesmo distrito pegmatítico. A Figura 4 ilustra a

situação da não concordância de trabalhos distintos quanto a localização dos pegmatitos. Tanto no trabalho de Santos (1985) quanto no da CPRM (Ribeiro 1997), ambos foram lançados em coordenadas UTM, apesar disto, pode-se observar que não há uma superposição dos diversos corpos da região.

As análises químicas de minerais encontradas na literatura foram obtidas por diferentes metodologias e os elementos químicos selecionados variam de autor para autor, para uma mesma espécie mineral. Tendo em vista que a ciência é dinâmica, com o passar do tempo surgem novas abordagens com elementos químicos não pesquisados anteriormente, bem como a utilização de diagramas que permitem interpretações de natureza genética e de classificação do potencial econômico, entre outras. Assim, uma reinterpretação de dados já publicados se torna muitas vezes inviável devido a nem sempre existir uma igualdade entre os métodos de análises utilizados, como também não haver uma igualdade de elementos químicos estudados.

2.1 - TRABALHOS DE CAMPO

Durante os trabalhos de campo, num total de quatro etapas, foi feita uma coleta de amostras em 23 corpos pegmatíticos, incluindo-se lavras abandonadas e paralisadas, como também dados relativos às dimensões, estruturas dos corpos e rochas encaixantes, além da verificação da localização em mapas topográficos, da geologia da área das lavras comparada com a exibida em mapas geológicos e ainda de acervo bibliográfico existente. Nestes materiais, foram utilizados as bases cartográficas cujas especificações encontram-se relacionadas na Tabela 3. As fases mineralógicas selecionadas para este estudo constituem uma ampla seleção de feldspatos e micas, além de outros acessórios do tipo berilo, nióbio-tantalatos e uma menor amostragem de turmalinas, granadas, autunita e apatita. Além desta coletânea de espécimes mineralógicos, foram realizados levantamentos tanto nas paredes das galerias e nas frente de lavra, bem como observações das relações estruturais entre os pegmatitos e as suas encaixantes, formas e tamanhos dos corpos.

Figura 4 - Vários pegmatitos lançados no mapa com base em coordenadas UTM de dois trabalhos mostrando a não coincidência de alguns corpos em comum estudados pelos autores. A área tracejada foi a selecionada para o presente estudo.

2.2 - TRABALHOS DE LABORATÓRIO

O material selecionado foi estudado por uma combinação de diversos métodos analíticos cujos dados estão resumidos esquematicamente na Tabela 4. As técnicas empregadas, de um modo geral, foram concentradas na obtenção de dados cristalográficos e químicos, uma vez que o objetivo desta Tese é a caracterização genética, além de ressaltar a importância tecnológica e econômica de um campo pegmatítico, onde a variação cristaloquímica das fases minerais é fundamental para o conhecimento dos processos genéticos.

Tabela 3 - *Relação das principais bases cartográficas utilizadas no trabalho de campo e na confecção de mapas constantes nesta Tese.*

Mapa	Escala	Código	Editor	Autor/Ano
Folha Governador Valadares	1:100.000	SE.24-Y-A-IV	CPRM/SEME/ COMIG	Fontes <i>et al.</i> (1978)
Folha Rio Doce	1:1.000.000	SE.24	DNPM/DGM	Silva <i>et al.</i> (1978b)
Folha Marilac	1:100.000	SE.23-Z-B-VI	IBGE	- (1980)
Folha Ipatinga	1:250.000	SE.23-Z-D	DNPM	Drumond (1985)
Folha Belo Horizonte	1:250.000	SE.23-Z-C	DNPM/DGM	Silva <i>et al.</i> (1978a) Silva (1985)
Folha Guanhães	1:250.000	SE.23-Z-B	DNPM/CPRM	Vieira (1985)
Estado de Minas Gerais	1:100.000	-	DNPM	Pedrosa Soares <i>et al.</i> (1994a, b)
Folha Marilac	1:100.000	SE.23-Z-B-VI	CPRM/SEME/ COMIG	Ribeiro (coord.) (1997)

Considerando que os laboratórios raramente reúnem metodologias diversificadas, e levando em conta que muitos centros instalados não permitem a obtenção de dados rotineiros, foi preciso recorrer, além do Departamento de Mineralogia e Petrologia do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (DMP/IGc/USP), a outros laboratórios tais como o Departamento de Geologia da Escola de Minas da Universidade Federal de Ouro Preto (DEGEO/EM/UFOP), Centro de Pesquisa Professor Manoel Teixeira da Costa do Instituto de

Geociências da Universidade Federal de Minas Gerais (CPMTC/IGC/UFMG), Centro de Conservação e Restauração da Escola de Belas Artes (CECOR/EBA) e o Departamento de Física do Instituto de Ciências Exatas (DF/ICEx), ambos da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Levando-se em conta que os princípios básicos da maior parte dos métodos relacionados abaixo, são encontrados na literatura mineralógica dos últimos anos, seja em manuais específicos e/ou livros (Zussman 1977, Formoso 1980, Gomes 1980 e 1984), ou em Dissertações de Mestrado (Souza 1988, César-Mendes 1989, Gandini 1994) e Teses de Doutorado (Marciano 1995, Chodur 1997), serão apresentados nos itens subseqüentes, apenas um pequeno comentário a respeito de cada uma das técnicas utilizadas.

2.2.1 - PREPARAÇÃO DE AMOSTRAS

A coleta das diferentes fases mineralógicas, efetuada em uma área de 5 por 16km, de direção aproximadamente SW-NE, realizou-se basicamente nas diversas lavras de duas formas: a primeira procurou amostrar segundo as zonas do corpo e a segunda, por um conjunto de amostras que representasse a(s) paragênese(s) do corpo. Cada tipo de amostra recebeu um código referente à procedência seguida de uma numeração (Tabela 5) que foi registrada em um livro pertencente à litoteca do CPMTC/UFMG, e descrita macroscopicamente em fichas apropriadas. Os minerais descritos por Wegner (1983), Santos (1985) e Marciano (1985) não foram incluídos na tabela devido a não concordância da grande maioria dos pegmatitos. A mineralogia descrita por esses autores estão relacionados no Capítulo 9.

Com base no esquema apresentado na Tabela 4, segue-se uma descrição sucinta de cada um dos métodos utilizados neste trabalho.

A preparação das amostras seguiu uma rotina comum dos laboratórios geológicos. Inicialmente houve uma seleção das técnicas analíticas a serem empregadas no caso de cada amostra. Quando houve necessidade de estudos ópticos, microtermométricos ou análises por microsonda e/ou microscopia eletrônica, foi retirada uma fatia para confecção de lâminas adequadas para cada método. Para obtenção do peso específico, as amostras foram quebradas a martelo, selecionando-se os fragmentos isentos de impurezas. Para as análises de difração de raios X, fluorescência de raios X, espectroscopia de absorção no infravermelho, gravimetria e ICP/AES, as amostras quebradas foram pulverizadas em um moinho de ágata ou de bola de carvão de tungstênio (modelo FRITSCH do tipo 00:502 pertencente ao CPMTC/IGC/UFMG).

Tabela 4 - Quadro sinóptico das principais atividades que foram desenvolvidas em diversos laboratórios de diferentes universidades.

PRIN- CÍPIOS	MÉTODOS ANALÍTICOS	ATIVIDADES
FÍSICO	PREPARAÇÃO FÍSICA DAS AMOSTRAS ^{1,2}	❖ cadastramento das amostras com uma numeração e descrição macroscópica; ❖ separação das amostras nas várias fases mineralógicas para análises distintas.
	MÉTODOS ÓPTICOS ^{1,2}	❖ separação de fases mineralógicas; ❖ determinação dos índices de refração para os espécimes de berilo.
	DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE RELATIVA ^{1,2}	❖ medidas em amostras de algumas espécimes minerais.
	DIFRAÇÃO DE RAIOS X ^{2,3}	❖ cálculo dos parâmetros e volume da cela unitária para o berilo, feldspatos, micas e nióbio-tantalatos; ❖ determinação dos politipos em micas, berilo e nióbio-tantalatos.
	TESTE DE QUEIMA ¹	❖ determinação da piroexpansividade e cor em feldspatos
QUÍMICO	MÉTODO MICROTERMOMÉTRICO ^{3,2}	❖ determinação das composições, densidades, salinidades e condições de P e T de aprisionamento das inclusões fluidas no berilo.
	ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NO INFRAVERMELHO ⁴	❖ identificação das espécies minerais e de alguns componentes químicos das inclusões fluidas existentes nelas, bem como a utilização de determinadas bandas de absorção para correlacioná-las com a composição química e estrutura cristalina.
	ESPECTROSCOPIA MICRO-RAMAN ⁵	❖ obtenção de dados químicos das inclusões fluidas do berilo.
	MICROSSONDA ELETRÔNICA ⁶	❖ obtenção de dados químicos de algumas fases mineralógicas de granito.
	MICROSCOPIA ELTRÔNICA DE VARREDURA ⁷	❖ obtenção de dados químicos de algumas fases mineralógicas dos nióbio-tantalatos.
	ICP/AES ¹	❖ determinação dos componentes químicos presentes na estrutura do berilo e micas, dentre outros.
	FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X ¹	❖ determinação dos componentes químicos presentes na estrutura do berilo, feldspatos e micas.
	FOTOMETRIA DE CHAMA ¹	❖ determinação do Li, K, Na nos berilo, feldspatos e micas.
	GRAVIMETRIA (PERDA AO FOGO) ¹	❖ determinação da porcentagem de água e suas formas presentes na estrutura das fases minerais analisadas.
	TITULOMETRIA ¹	❖ determinação do Fe ²⁺ nos feldspatos, micas e berilo
1 - CPMTC/IGC/UFGM; 2 - DEGEO/EM/UFOP; 3 - DMP/IGC/USP; 4 - CECOR/EBA/UFGM; 5 - DF/ICEx/UFGM; 6 - L'Ecole des Mines de Paris á Fontainebleau - França; 7 - DEMIN/EE/UFGM		

ABREVIACÕES UTILIZADAS NA TABELA 5

MINERAIS	CORES	SIGLAS
alb - albita		
amb - ambligonita		
amz - amazonita		
apa - apatita	acin - acinzentado	a,b,c,d,e - tipos diferentes
aut - autunita	amd - amarelado	c. subst. - corpo de substituição
bav - bavenita	az - azul	corr - corroido
ber - berilo	azc - azul claro	oxFe - ido de ferro
bio - biotita	esv - esverdeado	tab - tabular
brt - bertrandita	fm - fumê	grf - gráfica
cau - caulim	inc - incolor	mat. alter - material alterado
fel - feldspato	le - leitoso	inter. - intermediária
gra - granada	li - lil	min - mineral
her - herderita	pr - preta	oxMn - ido de manganês
lep - lepidolita	ro - róseo	
mus - muscovita	vd - verde	
Nb/Ta - ferrocolumbita / tantalita		
Qua - quartzo		
tor - torbenita		
tur - turmalina		

Tabela 5 - Relação das lavras estudadas na região do Campo de Marilac, com as respectivas amostras coletadas nos corpos pegmatíticos, juntamente com os minerais selecionados para estudo. A relação numérica das lavras obedece uma direção aproximada de SW para NE da área selecionada. Os quadros vazios representam espécimes não coletados.

Nº da lavra	Nome da lavra	Nº das amostras	Zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/ Ta	tur	gra	outros	obs
1	Arizio	5698	gráfico fino										cau	
2	Ladinho I	5694					X							
		5695		fm	X		X							
		5696											cau	
		5725		ro, fm, le	X	X	X							Mn
3	Ladinho II	CPRM		X	X		X	X					cau	
4	Pedra Redonda	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X					
5	Cabeceira Córrego Ferreirinha	CPRM	gráfica	X	X		X	X	X	X	X			

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/ Ta	tur	gra	outros	obs
6	Ipê	5527	c. subst.											
		5528	c. subst.				X							
		5529	c. subst.						X					
		5530	c. subst.				X	X	X				min vd?	
		5531	c. subst.											
		5532		a,b,c,d,e										
		5533	grf.-inter.		X		X							
		5534	c. subst.				X							
		5535	marginal								pr			
		5536		corr										
		5537	gráfica	X		az		X				X		
		5538		X										
		5539		tab										
		5540	gráfica						X					
		5541	c. subst.						X					
		5542							X					
		5573								a, b, c d, e				
		5574		tab										
		5575			X				X		X	X		
		5576				X							?	
		CPRM		X	X	X	X	X	amd	X	X	X	cau, aut, apa, brt	

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/ Ta	tur	gra	outros	obs
7	Ferreirinha II	5667		X			X	X						
		5668		X		X	X				pr	X		
		5670	gráfica grosseira	amd, le	X	X	X		esv		pr	X		
		5671	gráfica	X	X		X					X		
		5672					X	X						
		CPRM	X	X	X	X	X	X	X		X		cau, aut, apa	

8	Ferreirinha III	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X				
---	-----------------	------	---------	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--	--

9	São Domingos (Lavra da Cachoeira)	5580		X			X		X		pr		cau	oxFe, oxMn
		5581	gráfica	X	X		X	X				X		oxMn
		5582		X	X		X							oxMn

10	Crioulo	5579	gráfica	inc, acin, esv	X		X	X		X		X	cau	oxFe
----	---------	------	---------	----------------------	---	--	---	---	--	---	--	---	-----	------

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/ Ta	tur	gra	outros	obs
11	Ferreirinha I	5583							X					
		5584							X					
		5585										X		
		5586		amd, ro, fm, le										
		5669							X			X		entre I e II
		CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	cau, aut, apa	

12	Olho-de-Gato	5577							X	a, b	X			
		5578		X	amz									
		CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	cau, aut, apa, tor, bav, brt, her	

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/Ta	tur	gra	outros	obs
13	Boi	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	pr	X	cau, apa	

14	Jonas Lima II (Faria II)	5611		X		X	X					X	aut	
		5612	gráfica	X	X									
		5613		X	X							X		
		5614	inter.		X									
		5615	c. subst.			X	X							
		5616		X			X							
		5617							a, b, c, d					
		5618				X			ro					oxMn
		5619							a,b,c					
		5620								a, b				
		5621		X							X			
		5622 CPRM Giovani	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	vd, az	X	apa vd ? cau, aut, apa,	

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/ Ta	tur	gra	outros	obs
15	Jonas Lima I (Faria I)	5624							X					
		5699		X										oxMn, oxFe
		5700		X		X					X			
		5711		X	X		X							oxMn
		5712	c. subst.			X							cau ?	
		5714				X	X							
		5715		X	X		X				pr	X		
		5716	gráfica	inc, le	X	X	X	X						
		5717									pr			oxFe
		5718			X		X						cau	
		5719		X	amz		X							
		5720				X	X							
		5721				X	X							oxMn
		5722		X	X	X					pr			
		5723	contato / gráfica fina					X						rocha
		5732		X	X	X	X		X		pr			oxMn
		5774							a, b					
	Giovani-CPRM	CPRM		X	X	X	X	X	X	X	az, vd	X	cau, aut, hrd	

16	Golconda II (Machadão)	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X		X	az, vd	X	cau, aut, apa, brt	
----	---------------------------	------	---------	---	---	---	---	---	--	---	-----------	---	-----------------------	--

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/Ta	tur	gra	outros	obs
17	Jacó	5697									pr			
		CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	pr	X	cau, apa	

18	Japonês	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	X		cau	
----	---------	------	---------	---	---	---	---	---	---	---	---	--	-----	--

19	Pelé	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	cau	
----	------	------	---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	--

20	Grande	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	X		aut	
----	--------	------	---------	---	---	---	---	---	---	---	---	--	-----	--

21	Faz. Japonesa Sr. Paulo	5661	gráfica						X	X	pr			
		CPRM	gráfica	X	X		X	X	X	X			cau	

22	Córrego Areião	CPRM	gráfica	X	X		X	X	X	X	X			
----	----------------	------	---------	---	---	--	---	---	---	---	---	--	--	--

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/ Ta	tur	gra	outros	obs
23	Golconda III (Lavra do Edson)	5664		X			X		X	X	pr, vd			
		5665		X			X				vd			min. li

24	Golconda I (Ailton)	5543	marginal											
		5561	marginal											
		5562	mural	X	X		X	X						
		5563	mural	X	X		X							
		5564	mural	X	X									
		5565	mural	X	X									
		5566	c. subst.											
		5567	rejeito											
		5568					X					X		
		5569							X					
		5570	gráfica	X	X									
		5571	gráfica	X	X									
		5572	gráfica	X	X									
		5713		X		X	X				vd	X		oxMn
		5724		X		X	X				pr, vd			
		5775								X				
		CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	pr, az, vd, ro	X	aut, apa, brt, lep	

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/ Ta	tur	gra	outros	obs
25	Lavra do Escondido	5674	c. subst.			X					pr, vd			
		5675		X			X				vd			
		5676			X	X	X		X					
		5677		X	X	X	X				pr			
		5678	c. subst.?			X	X							
		5679			X	X					vd			
		5680		X	X		X				pr		cau	
		5681		X		X					X			
		5682	c. subst.	X, fm	X	X	X		X		vd			oxMn
		5683				X	X			X				
		5684				X								
		5685		X										
		5686				X					pr, vd			
		5687		X		X					vd			
		5688											cau, min vd-amd	
		5689			X	X					vd		min vd- amd	
		5690		X	X	X							lep	
		5691				X	X				X			
		5692	c. subst.?				X							
		5693	gráfica	X	X									
		5701												rocha
		5731				X	X		inc, ro, az		p			oxMn

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/ Ta	tur	gra	outros	obs
26	Faz. Pedra Azul II	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	X			

27	Córrego da Onça	CPRM		X			X	X	X	X				
----	-----------------	------	--	---	--	--	---	---	---	---	--	--	--	--

28	Areião I	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	X	X	amb, lep	
----	----------	------	---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----------	--

29	Urbano	5662	gráfica média	X	X		X							
		5663		X	X	X	X		X			X		
		CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X					

30	José Pedra I	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	X			
----	--------------	------	---------	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--

31	José Pedra III	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	X			
----	----------------	------	---------	---	---	---	---	---	---	---	---	--	--	--

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/ Ta	tur	gra	outros	obs
32	Faz. Pedra Azul I	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X		X			

33	José Pedra II	CPRM	gráfica	X	X	X		X	X	X	X		cau	
----	---------------	------	---------	---	---	---	--	---	---	---	---	--	-----	--

34	Pedra Louça	CPRM	gráfica	X	X		X	X	X	X	X			
----	-------------	------	---------	---	---	--	---	---	---	---	---	--	--	--

35	Zado Imóveis	CPRM	gráfica	X	X	X	X	X	X	X	X		cau	oxMn, oxFe
----	--------------	------	---------	---	---	---	---	---	---	---	---	--	-----	------------

36	Toninho (Sem Terra)	5653		X	X		X		X		pr			oxFe, lep
		5654			X		X							
		5655		X			X			X	vd		cau	oxFe, oxMn lep
		5656		fm, le			X				vd, azc			oxMn, lep

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/Ta	tur	gra	outros	obs
37	Odilon II (Eucalipto)	CPRM	gráfica	X	X				X	X			cau	

38	Monte Claro	CPRM	gráfica	X	X	X		X	X	X				
----	-------------	------	---------	---	---	---	--	---	---	---	--	--	--	--

39	Ferrinho (Faz. Odilon)	5657					X					X		
----	---------------------------	------	--	--	--	--	---	--	--	--	--	---	--	--

40	Alberto (Sem Terra) (Faz José Pedra)	5638	c. subst.	X		X	X							oxMn, lep
		5639			X				X	X				
		5640	gráfica média	X	X	X	X							
		5641		le		X	X		az					min. li
		5673	inter.		X									

41	Rames (Sem Terra) (Faz José Pedra)	5642	gráfica	X	X		X					X		
		5643			X									
		5644		X	X	X	X				pr			
		5652		X			X		X	X				oxFe, oxMn

continua

continuação

nº da lavra	nome da lavra	nº das amostras	zona	qua	fel	alb	mus	bio	ber	Nb/ Ta	tur	gra	outros	obs
42	José Pereira (Sem Terra) (Faz José Pedra)	5645		X	X		X							oxMn, lep
		5646	c. subst.			X	X							oxMn
		5647	gráfica	X	X		X					X		
		5648	c. subst.			X	X		X	X				oxFe, oxMn
		5649							az, ro					
		5650											mat alter	
		5651	gráfica	X	X	X	X		X		pr	X		oxMn
		5666	c. subst.	fm		X	X		X		pr	X	cau	
43	Marcial (Faz. Odilon)	5633	gráfica grosseira	X	X	X	X					X		oxMn
		5634	gráfica grosseira	X	X	X	X					X		oxMn, oxFe
		5635		X	X	X			X					oxMn
		5636	gráfica fina	X	X		X		X					oxMn, oxFe
		5637		X	X		X		X					oxMn
44	Doca e Helder (Faz. Odilon)	5658							X	a, b			cau	
		5659			X		X						cau	
		5660			X		X						cau	
	amostras de granitóides	5735	1ª amostra	Santo Antônio do Porto - 22,8km a partir do entroncamento para Coroaci da BR116										
		5736	2ª amostra	Santo Antônio do Porto - 23,5km										
		5737	3ª amostra	Santo Antônio do Porto - 23,5km (amostra alterada)										
		5738	4ª amostra	Santo Antônio do Porto - 23,7km										
		5739	5ª amostra	Santa Efigênia - 77,0km (no perímetro urbano)										
		5740	6ª amostra	Gonzaga - 83km (no perímetro urbano)										

2.2.2 - DENSIDADE RELATIVA

A utilização deste método, além de permitir caracterização de uma propriedade mineralógica importante, é útil para a avaliação expedita da composição química, como em minerais de série isomórfica, em casos específicos como nos nióbio-tantalatos, estudados nesta Tese.

A densidade relativa (d) de berilo, feldspatos e nióbio-tantalatos foi determinada com a utilização de uma balança analítica eletrônica METTLER, modelo H 54AR, do CPMT/IGC/UFMG, cuja precisão é de 0,0001g e com capacidade de 1.200mg. Primeiramente, pesou-se o cristal, estando este amarrado a um fio de seda extremamente fino (P_1). Em seguida, mergulhou-se o cristal ainda amarrado ao fio em um béquer com água, destilada e deionizada, sobre uma plataforma, não apoiada ao prato da balança (P_2).

Para o cálculo da densidade utilizou-se a fórmula $d = [P_1/(P_1 - P_2)] \cdot d_{liq}$, onde $d_{liq} = d_{H_2O} = 1$.

2.2.3 - MÉTODOS ÓPTICOS

Durante a realização deste trabalho, vários métodos ópticos foram utilizados na investigação das diversas características mineralógicas das fases minerais estudadas.

Inicialmente, foi realizado uma observação preliminar das diversas fases em lupa de mão de 10X de aumento e, posteriormente em uma lupa binocular CARL ZEISS de até 40X de aumento do DEGEO/EM/UFOP. Esse trabalho forneceu um panorama das principais características físicas e morfológicas das amostras, e além disso, permitiu fazer uma seleção prévia de exemplares para o estudo das inclusões fluidas e cristalinas.

As lâminas petrográficas foram analisadas e descritas em microscópio CARL ZEISS e LEITZ WETZLAR, modelos ORTHOLUX (luz transmitida e refletida) do DEGEO/EM/UFOP. As fotomicrografias das seções delgadas foram obtidas em um fotomicroscópio CARL ZEISS, modelo AXIOPHOT, também do DEGEO/EM/UFOP. Alguns dos espécimes de berilo, destinados às fotomicrografias, foram preparados em plaquetas, de aproximadamente 0,1mm de espessura, com polimento em ambas as faces, todas adequadamente orientadas em relação ao eixo cristalográfico c deste mineral. Em alguns casos, as fotomicrografias foram obtidas de cristais brutos, como nos cristais de nióbio-tantalatos.

Os índices de refração do berilo foram medidos através de um refratômetro para sólidos, modelo TOPCON, disponível no DEGEO/EM/UFOP. Este aparelho tem como finalidade principal, medir o(s) índice(s) de refração de um determinado sólido. Além do índice, podem ser conhecidos o caráter óptico, a birrefringência e o sinal óptico. Para a medida, a amostra deve possuir uma superfície natural plana ou ser polida, e ser colocada sobre a parte plana de uma semi-esfera de vidro de índice de refração alto (1,81), com um meio de imersão entre ambas. Esse meio de imersão é constituído pelo iodeto de metileno (CH_2I_2), cujo índice de refração é igual a 1,742. Convencionalmente utiliza-se a luz de sódio para a realização dessas leituras. De posse dos dados ópticos pode-se lançar mão de determinados diagramas para uma avaliação química e, conseqüentemente uma interpretação genética.

2.2.4 - DIFRAÇÃO DE RAIOS X

Uma das técnicas de difração de raios X mais importantes para a identificação das espécies minerais, é o método do pó. Além de identificar, ela permite a medida dos parâmetros de cela unitária dos minerais (Azároff & Buerger 1958), além da identificação dos politipos.

Para o cálculo dos parâmetros unitários de berilo e nióbio-tantalatos, utilizou-se um programa de computação denominado LCLSQ e Miller 2 em uso, respectivamente, no IGc/USP e no DEGEO/EM/UFOP. Os dados utilizados em ambos programas foram os " d_s " observados das diferentes reflexões e os possíveis índices (hkl) de cada plano reticular compilados do fichário ICDD (International Center for Diffraction Data). Para a obtenção desses dados, utilizaram-se diagramas de pó obtidos em difratômetro SIEMENS D-5000 (IGc/USP) e da RIGAKO (DEGEO/EM/UFOP). As amostras foram quebradas no Morteiro de Abich e pulverizadas em um gral de ágata até alcançar uma granulometria abaixo de 200mesh.

2.2.5 - ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NO INFRA VERMELHO

Segundo Povarennykh (1978), essa técnica destrutiva é útil para a identificação de minerais, a determinação do arranjo e da simetria dos grupamentos atômicos e moleculares, o

estudo da influência das substituições iônicas na estrutura dos minerais, a identificação de componentes orgânicos, entre outras. Um grande número e tipos de espectro de absorção no infravermelho podem ser encontrados nos trabalhos de Farmer (1974) e Gadsden (1975).

No decorrer deste trabalho, essa técnica foi usada, basicamente, para a identificação dos grupamentos moleculares presentes nas inclusões fluidas de berilo, tais como, água do tipo I e II, gás carbônico e hidrocarboneto, fornecendo também dados para determinação dos politipos de berilo e ainda substituições químicas em feldspatos e micas, além de dados de fluidos em feldspatos e micas.

Os espectros de absorção no infravermelho (FTIR - infravermelho por transformada de Fourier) foram conseguidos a partir de um espectrofotômetro BOMEM/HARTMANN & BRAUN, modelo MB100C23 com detector MCT, pertencente ao CECOR/EBA/UFMG. Utilizou-se uma célula de diamante, modelo SPG 466 - *diamond anvil cell for microbeam*, juntamente com uma câmara sob atmosfera inerte com nitrogênio gasoso. Os diagramas foram obtidos a partir de $\cong 1\text{mg}$ de cada cristal (berilo, feldspato e mica) finamente moídos ($200\text{mesh} = 0,074\text{mm} = 74\mu\text{m}$), porém com tamanho suficiente para preservar as inclusões fluidas (15 a $50\mu\text{m}$) nos cristais de berilo e nos feldspatos. Os espectros de berilo foram tomados na região de 5.400 a 250cm^{-1} e para os feldspatos e micas na região de 4.000 a 400cm^{-1} , com uma resolução de 4cm^{-1} para todos. As leituras das bandas foram obtidas por meio de um *software* designado *Win-Bomem Easy*, versão 3.01C.

Como neste método as substâncias homopolares não são detectadas, por exemplo o nitrogênio (N_2) e, sendo esta substância passível de estar presente na fase fluida, recorreu-se à espectroscopia micro-Raman.

2.2.6 - MICROTERMOMETRIA DE INCLUSÕES FLUIDAS

Entre os vários métodos não destrutivos aplicáveis ao estudo de inclusões fluidas, o da microtermometria é o mais simples e, por isso, o mais utilizado. Esta metodologia permite a observação *in loco* de mudanças de fases presentes nas inclusões fluidas e o registro simultâneo das respectivas temperaturas através do resfriamento e aquecimento do mineral hospedeiro. A grande vantagem deste método é a de permitir a repetição do mesmo teste ou a realização de

testes diferentes na mesma inclusão, quando não houver escape de fluidos, mesmo que parcial, ou crepitação das inclusões, durante os processos de aquecimento ou resfriamento. Também, podemos citar entre esses métodos a espectroscopia micro-Raman, que possibilita a realização de análises qualitativas e quantitativas das fases individuais de inclusões fluidas com dimensões que podem chegar até 2 μ m.

Após a obtenção de um número de medidas significativas para cada grupo de inclusões, são construídos histogramas de frequência para inclusões fluidas semelhantes. Os dados obtidos por este método, quando comparados com sistemas estudados experimentalmente, permitem determinar a composição, a salinidade, a densidade dos fluidos envolvidos, bem como das condições de temperatura e pressão do seu aprisionamento ou mesmo da formação do mineral, ou seja, as condições físico-químicas reinantes durante os processos petrogenéticos, ou relacionados a eventos posteriores à cristalização ou recristalização dos minerais (Weisbrod *et al.* 1976, Collins 1979, Hollister 1981a e b, Roedder 1982, Roedder 1984, Fuzikawa 1985, Nicholls & Crawford 1985, Xavier 1987). De acordo com Roedder (1984), em determinados casos, quando as inclusões fluidas são aprisionadas a partir de sistemas heterogêneos, consegue-se a temperatura real de formação do cristal, ou um valor bastante próximo da mesma.

O método da microtermometria é realizado com o auxílio de uma platina de resfriamento/aquecimento adaptada a um microscópio petrográfico comum sob luz transmitida, que permite uma variação de temperatura entre -190 a +600°C (Poty *et al.* 1976, Hollister & Crawford 1981). Outros modelos de platinas podem chegar até +1.200°C.

A parte experimental deste trabalho foi executada no Laboratório de Inclusões Fluidas do IGc/USP e do DEGEO/EM/UFOP, utilizando-se um microscópio da marca Leitz Wetzlar, binocular, com várias associações de oculares de 10X e 25X, e de objetivas de 3,5X, 10X e 32X/UT-50, esta última caracterizada por possuir aumento relativamente elevado, conservando uma distância focal de 6mm. A platina de resfriamento/aquecimento é da marca CHAIXMECA, tipo MTM8S, cujos princípios e características foram descritos por Poty *et al.* (1976).

O corpo da platina contém em seu interior uma resistência que permite o aquecimento até temperaturas de 600°C e um canal de circulação de nitrogênio líquido que possibilita seu resfriamento até, aproximadamente, -190°C.

Para os estudos microtermométricos, os cristais selecionados foram serrados na forma de lâminas de faces planas e paralelas com espessura de, aproximadamente, 1mm, sendo posteriormente polidas em ambas as faces. A confecção dessas lâminas requer muita habilidade,

pois durante o preparo não podem ser aquecidas acima de 30°C, para evitar problemas de vazamento de fluido ou crepitação das inclusões.

Dependendo da composição dos fluidos presentes nas inclusões, pode-se ter valores distintos das temperaturas de fusão dos seus componentes (Collins 1979, Nicholls & Crawford 1985). Por exemplo, se a temperatura de fusão de uma das fases da inclusão ocorrer a -56,6°C, isso implica na presença de CO₂ puro, enquanto que valores inferiores indicam que outros voláteis estão dissolvidos na fase carbônica, os quais nem sempre podem ser determinados pela microtermometria. Nesses casos, são de grande utilidade outros métodos de análises, como por exemplo a absorção no infravermelho e a espectroscopia micro-Raman (Moenke 1966, Farmer 1974, Gadsden 1975). Do mesmo modo, se a temperatura de fusão da fase aquosa apresentar valores menores que 0°C (H₂O pura), isso implica a presença de íons dissolvidos na solução, os quais podem ser determinados, de modo aproximado, através das temperaturas dos seus pontos eutéticos.

2.2.7 - ESPECTROSCOPIA MICRO-RAMAN

O efeito Raman consiste na modificação do comprimento de onda de uma radiação eletromagnética que é espalhada por uma superfície. O fenômeno é utilizado nos espectrógrafos Raman, onde se medem, através de um registro específico, os comprimentos de onda da radiação refletida, obtendo-se assim, informações quanto à estrutura molecular da substância refletora (Fuzikawa 1985).

A grande vantagem do uso deste método é permitir uma análise pontual, ou seja, o diâmetro do feixe de raio de elétrons que incide na amostra é da ordem de 1µm; com isto, pode-se estudar inclusões cristalinas ou fluidas muito pequenas. Outra vantagem, é a possibilidade de se repetir a análise na mesma inclusão ou efetuar outro tipo de teste na amostra, pois este método não é destrutivo. Talvez, em alguns casos, uma limitação seja o grau de diafaneidade do mineral hospedeiro das inclusões fluidas, da amostra estudada. Outra limitação é que determinadas substâncias interagem com a radiação incidente e produzem espectro Raman, ao passo que outras, cuja interação é muito fraca, não conseguem produzir os efeitos espectrais.

Como exemplos do primeiro grupo podemos citar as substâncias CO_2 , H_2O , CH_4 e N_2 ; entre as segundas, íons como o Na^+ , Cl^- , K^+ que podem estar presentes nas inclusões fluidas.

Analogamente à espectroscopia de absorção no infravermelho, há picos do mineral e dos componentes fluidos. Nestas duas últimas técnicas os picos são, de um modo geral, inversamente proporcionais; quando um é ativo no infravermelho é fraco no Raman, e vice-versa (Ewing 1989).

As amostras de berilo, estudadas por este método, foram as mesmas lâminas preparadas para o estudo das análises microtermométricas. O equipamento utilizado foi um espectroscópio micro-Raman DILOR, modelo XY, pertencente ao DF/ICEx/UFGM.

2.2.8 - FLUORESCÊNCIA DE RAIOS X

Esta técnica apresenta inúmeras vantagens como, por exemplo, a simplicidade relativa do espectro, rapidez analítica (± 400 amostra/dia com 1 elemento/amostra), boa exatidão e reprodutibilidade, considerada como não destrutiva, ampla detecção de elementos químicos (a partir do elemento de número atômico 11 - Na) em diferentes concentrações, entre outras.

O princípio de funcionamento está baseado na excitação dos elétrons que provocam a emissão de radiação dos elementos químicos na região do espectro eletromagnético correspondente aos raios X. Assim sendo é possível identificar e estimar a concentração dos elementos numa dada amostra a partir da radiação produzida. Na espectrografia por fluorescência, a excitação dos elementos resulta da sua irradiação por um feixe primário de raios X (Gomes 1984).

A radiação secundária, ou seja, fluorescente, é consequência da radiação de uma determinada substância por meio de um feixe de raios X, quando emitidos de um tubo operado em condições de alta voltagem. Este feixe, ao atingir a amostra, sofre várias interações com os átomos nele contidos. Desta maneira, a partir do processo de absorção fotoelétrica, os fótons podem ser absorvidos pelos átomos levando à emissão das raias características ou radiação fluorescente. Combinando as intensidades desta radiação juntamente com os ângulos de reflexão

conhecidos, pode-se determinar, através dos comprimentos de onda correspondentes, os elementos da amostra e sua quantificação.

As amostras utilizadas neste tipo de investigação, foram pulverizadas em uma proporção de 1:5, ou seja, 1g de amostra com 5g de fundente (70% de tetraborato de Li e 30% de metaborato de Li). Essa mistura é submetida à temperatura de 1.000°C permitindo a confecção de pastilhas que minimizam o efeito de matriz fornecendo análises quantitativas na forma de óxidos. No caso dos feldspatos, micas e berilo, os elementos traços foram determinados em pastilhas de 30mm de diâmetro, confeccionadas com 1g de amostra pulverizada e prensada sobre uma base de ácido bórico (5-7g). O equipamento sequencial utilizado é da marca SIEMENS, modelo SRS-3000 pertencente CPMTC/IGC/UFGM.

2.2.9 - FOTOMETRIA DE CHAMA

Para esta metodologia é empregado um fotômetro de feixe simples que é um instrumento de leitura direta. Um feixe paralelo, que provém de uma lâmpada de tungstênio alimentada por um transformador de voltagem constante, é usado no fotômetro por meio de uma abertura variável. O filtro seleciona a banda espectral apropriada. A luz transmitida através da cubeta de absorção alcança uma célula fotovoltáica e a corrente gerada é indicada por um microamperímetro com escala linear de 0 a 100. Inicialmente, com a célula fotovoltáica bloqueada, o indicador é ajustado mecanicamente para 0%T. Em seguida, com a cubeta contendo o solvente, regula-se a abertura variável de modo a obter-se a leitura 100%T. Finalmente, substituindo-se o solvente pela solução em estudo, lê-se a transmitância em uma escala linear, que é acompanhada de uma escala logarítmica de absorbância (Ohlweiler 1981)

Para determinação de Na_2O , K_2O e Li_2O presentes no berilo, foi utilizado um espectrofotômetro de chama da marca MICRONAL, modelo B262 pertencente ao CPMTC/IGC/UFGM. A amostra (1,0g) foi dissolvida em uma mistura ácida (HF , HCl e HClO_4) e transferida para balão volumétrico de 100ml.

2.2.10 - GRAVIMETRIA (PERDA AO FOGO - PF)

A água retida nos sólidos é classificada em essencial e não essencial (Ohlweiler 1987). Segundo este autor, o primeiro tipo é aquela que faz parte da estrutura cristalina ou molecular de um dos componentes do mineral em quantidades estequiométricas. Este tipo compreende a água de cristalização e de constituição. A água de constituição se forma a partir de hidrogênio ou do íon hidroxila quimicamente ligados no composto, quando o sólido sofre decomposição térmica.

O segundo tipo, não essencial, é a água cuja presença não é necessária para caracterizar uma espécie química. Este tipo não ocorre em proporção estequiométrica por ser retida no sólido por forças meramente físicas. A água não essencial é dividida em três tipos: adsorvida, sorvida e oclusa. A adsorvida é aquela retida na superfície dos sólidos em contato com um ambiente úmido. Quando a amostra é aquecida em temperaturas acima de 100°C, esta água cai, aproximadamente, a zero. A sorvida é a água retida como uma fase condensada nos intertícios ou capilares dos sólidos coloidais, podendo alcançar de 10 a 20% da massa total do sólido. Para se retirar esta água é necessário aquecer a amostra numa temperatura $\geq$ a 200°C. Finalmente, a oclusa é aquela aprisionada em cavidades microscópicas irregularmente distribuídas nos cristais e conhecida como inclusões fluidas. Esta água por não estar em equilíbrio com a atmosfera não é afetada pelas variações da umidade atmosférica. Para se eliminar este tipo de água é necessário uma temperatura muito superior a 100°C, ocorrendo uma crepitação da inclusão.

O método da gravimetria permite determinar as porcentagens de H_2O^- (água não essencial ou adsorvida) e H_2O^+ (água essencial), além de possíveis voláteis presentes na estrutura cristalina. Através da calcinação do material em mufla (forno) e de suas respectivas pesagens, obtêm-se os dados relativos a esses voláteis.

Primeiramente, foram selecionados os cristais de berilo isentos de inclusões cristalinas, seguindo-se uma moagem até uma granulometria inferior a 200mesh para cada amostra separadamente. As amostras foram analisadas com duplicatas, permitindo deste modo uma média dos resultados.

A presença de H_2O^- está ligada, principalmente, à moagem, pois a amostra fica com uma área muito maior exposta à umidade atmosférica. Para a determinação da porcentagem de H_2O^- , as amostras foram pesadas em um cadinho de liga platina-ouro, previamente seco em estufa. É necessário que o cadinho seja calcinado antes do processo e resfriado no dessecador até obter a

constância do peso. Após permanecerem em mufla à 110°C por uma hora, aproximadamente, e esfriadas em dessecador, as amostras foram novamente pesadas. Este procedimento é repetido até obter-se uma constância do peso. Considera-se aqui constância de peso, se duas pesagens feitas dentro de um intervalo de uma hora não diferirem mais do que 0,01g. A diferença da pesagem forneceu o valor de H_2O^- . Quanto ao valor da perda ao fogo, ou seja, a soma das substâncias volatilizadas pela calcinação na estrutura cristalina do mineral, o procedimento foi análogo, com a ressalva de que a temperatura usada na mufla foi em torno de 1.000°C. A calcinação é repetida até a constância do peso. Os valores encontrados nesta segunda etapa nem sempre refletem a porcentagem de H_2O^+ pura, pois outros voláteis, como por exemplo o flúor e o boro, podem estar presentes na estrutura. A porcentagem da PF ou H_2O_{total} é dada pela soma das porcentagens de H_2O^+ e H_2O^- .

Os dados para o berilo foram obtidos em uma mufla LAVOISIER, modelo 400D (18A, 220V, 3980W) e balança analítica eletrônica de marca METTLER, modelo H 54AR, com precisão de 0,0001g e capacidade de 1.200mg, ambas do CPMT/IGC/UFGM.

2.2.11 - TITULOMETRIA

A determinação indireta de Fe^{2+} é conseguida por meio do método de Wilson. Este método utiliza uma solução padrão de metavanadato de amônio. A amostra é atacada com HF sendo então adicionado um excesso conhecido por solução padrão de NH_4VO_3 . O excesso é contratitulado com uma solução padrão de sulfato ferroso amoniacal utilizando difenilamina-sulfonato de bário como indicador.

Como o Fe^{2+} oxida muito rápido, o método de Wilson torna-se ineficiente. Assim sendo, para a obtenção dos teores de Fe^{2+} , em todas as amostras analisadas nesta Tese, foi utilizado o método de "Pratt" adaptado. De acordo com rotina utilizada no laboratório de química do CPMT/IGC/UFGM, este método obedece o seguinte procedimento:

Soluções:

- a. dissolver 1,3674g de $K_2Cr_2O_7$, 0,0279N, em um litro de água destilada;
- b. dissolver 100g de ácido bórico saturado, H_3BO_3 , em um litro de água quente.

Esfriar e diluir para 2 litros com água destilada;

c. mistura ácida para FeO: 200ml de H_3PO_4 + 400ml de H_2O + 400ml de H_2SO_4 .

Procedimento:

Pesar 0,5000g de amostra e transferir para um béquer de teflon. Adicionar 10ml de HF concentrado e 10ml de H_2SO_4 1:1 em chapa quente para abertura, num tempo máximo de 10 minutos. Acrescentar em um erlenmeyer 50ml de H_3BO_3 saturado, 10ml de mistura ácida, pitadas de difenilaminasulfonato de bário e água deionizada fria pré-fervida. Transferir a amostra dissolvida para o erlenmeyer e titular com solução de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, 0,0279N. De posse da reação $6\text{Fe}^{2+} + \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-} + 14\text{H}^+ \Rightarrow 2\text{Cr}^{3+} + 6\text{Fe}^{3+} + 7\text{H}_2\text{O}$, calcula-se a porcentagem de FeO, ou seja, $\% \text{FeO} = 0,2 \times \text{Volume } \text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 / \text{massa da amostra}$.

2.2.12 - ESPECTROMETRIA DE EMISSÃO ATÔMICA COM PLASMA INDUTIVAMENTE ACOPLADO (ICP/AES)

A ICP/AES surgiu na década de 60 com os trabalhos pioneiros de Greenfield *et al.* (1964) e de Fassel & Wendt (1965). Trata-se de uma técnica relativamente simples que apresenta grandes vantagens do ponto de vista analítico, como por exemplo, excelente limite de detecção, boa precisão e efeitos de matriz mínimos. Estas características popularizaram esta técnica tornando-a ao longo dos anos em um dos métodos mais versáteis de análise química, tanto de minerais quanto de substâncias inorgânicas.

Quase todos os elementos da tabela periódica podem ser determinados por ICP/AES, com algumas exceção, tais como oxigênio, nitrogênio, gases nobres e halogênios. Como a lista de elementos requisitados numa análise geológica é sempre grande, em média de 30 a 40 determinações, essa técnica é a mais indicada por ter uma capacidade de análise multielementar numa ampla faixa de concentração (Jarvis & Jarvis 1992). Este fato também está ligado a rapidez com que se obtêm as análises, ou seja, uma média de ± 300 amostra/dia com 40 elemento/amostra implicando num total de ± 12.000 determinação/dia (Gomes 1984).

Geralmente, em uma análise completa geológica são determinados três grupos de elementos, a saber, elementos maiores na forma de óxidos incluindo SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO ,

MgO, MnO, TiO₂, Na₂O, K₂O e P₂O₅, elementos traços tais como Ba, Sr, Cr, Ni, V, Cu, Zn, Zr, Y, Nb entre outros, bem como os elementos do grupo das terras raras.

Para o berilo, a determinação de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, BeO, CaO, MgO, TiO₂ e MnO por ICP/AES foi feita em um equipamento seqüencial da marca SPECTROFLAME, modelo FMV 05 SCANNER, do CPMTC/IGC/UFG. As amostras foram preparadas por fusão (100mg) com 0,4g de uma mistura de ácido bórico(H₃BO₃) e carbonato de sódio (Na₂CO₃) e 0,4g de carbonato de potássio (K₂CO₃), em um cadinho de platina por 30 minutos a 1.000°C. Depois de resfriado o resíduo foi dissolvido em 60ml de HCl - 50%, e transferido para um balão volumétrico de 250ml para a leitura.

2.2.13 - MICROSSONDA ELETRÔNICA

É um método muito importante de análise química mineral, que vem sendo divulgado em vários manuais e/ou livros (Gomes 1980 e 1984), bem como em dissertações de mestrado (Gandini 1994) e teses de doutoramento (Juchem 1999).

Como vantagens analíticas desta técnica, podemos citar entre outras a possibilidade de se obter dados químicos qualitativos, semiquantitativos e quantitativos das fases presentes numa dada amostra de dimensões reduzidas; visualização simultânea da amostra no decorrer da análise; recuperação da lâmina ou seção uma vez que este método possui caráter não destrutivo; e produção de um grande número de análises devido a automatização do aparelho por computadores interligados.

Este método baseia-se na espectroscopia de raios X associado à imagem. Quando uma amostra é bombardeada por um feixe de elétrons provocando uma excitação dos átomos, estes originam os espectros característicos de raios X. O princípio da análise está na comparação da intensidade de uma dada linha de emissão de raios X gerada na amostra com aquela produzida pelo padrão, mantida a corrente incidente constante.

A técnica consiste na determinação da composição química de um pequeno ponto da superfície de uma amostra a partir de uma montagem polida e metalizada. Essa leitura é realizada através da incidência de uma corrente de elétrons de alta energia, gerados em alto

vácuo, na amostra, de onde são emitidos os comprimentos de ondas característicos dos elementos presentes no mineral. Este feixe de elétrons incide na amostra com um diâmetro da ordem de 1 μ m. A incidência do feixe eletrônico na superfície da amostra provocará a formação de raios X característicos, em consequência da interação de elétrons de alta energia com os átomos dos elementos presentes na amostra (Gomes & Girardi 1973).

Quanto às amostras de granitos estudadas, neste trabalho, foram confeccionadas lâminas delgadas polidas, que receberam uma metalização de carbono. As condições de análises foram de 15kV para a tensão de aceleração, 15nA para a intensidade de corrente e 20s para o tempo de contagem. As análises foram executadas em uma microsonda CAMEBAX, pertencente a L'Ecole des Mines de Paris á Fontainebleau.

2.2.14 - MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA

Este método tem como princípio a incidência de um feixe eletrônico fino, produzido por um filamento de tungstênio, que varre a superfície da amostra previamente metalizada, colocada no interior de uma câmara de vácuo do microscópio eletrônico de varredura (MEV). Em decorrência dessa irradiação de elétrons, são emitidos elétrons secundários e retroespalhados, além de outros componentes, a partir da superfície da amostra. Esses sinais são detectados, ampliados e enviados à tela de um tubo de raios catódicos mostrando uma imagem da amostra, varrida sincronicamente. A técnica permite estudar simultaneamente tanto a morfologia como a composição de minerais e materiais em geral.

Os nióbio-tantalatos foram estudados por este método. Os dados foram obtidos com a utilização de um sistema composto por um MEV, marca JEOL-JSM 5410 associado a um espectrômetro de energia dispersiva (EED ou EDS - energy dispersive system), da Noran Instruments Voyager, pertencente ao laboratório de microscopia eletrônica de varredura do DEMIN/EE/UFGM.

2.2.15 - TESTE DE QUEIMA

Os corpos de prova de feldspatos destinados para o teste de queima, foram submetidos a dois procedimentos distintos. No primeiro caso, foram serrados cubos de 2cm de aresta para o teste de piroexpansividade. No segundo, os cones de prova foram obtidos a partir do pó dos feldspatos, finamente moídos, que foram prensados em uma forma cônica, para o teste de cor.

Os testes foram executados em uma mufla AN / 1620 da Analógica pertencente ao CPMTC/IGC/UFGM.

3 - CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

Os pegmatitos estudados nesta Tese localizam-se na Província Pegmatítica Oriental, situada na parte oriental de Minas Gerais (Paiva 1946). Esses corpos estão encaixados em rochas arqueanas pertencentes à Província Mantiqueira (Almeida 1967), com idade U-Pb de 3.130 ± 8 Ma (Machado *et al.* 1996).

Trata-se de uma região clássica de ocorrências de bens minerais, destacando-se entre outros feldspatos, berilo industrial, micas, quartzo, nióbio-tantalatos e gemas variadas.

3.1 - LITOESTRATIGRAFIA

Talvez, a primeira Carta Geológica do Estado de Minas Gerais contendo informações significativas tenha sido aquela apresentada por Guimarães e Barbosa em 1934, na qual estão presentes dados coletados no período entre 1915 à 1930 por diversos pesquisadores destacando-se, entre outros E. C. Harder, R. T. Chamberlain, C. Correns, B. von Freyberg e L. J. Moraes (Fontes *et al.* 1978). Foi a partir de 1970 que uma série de trabalhos começaram a ser publicados tanto sobre a geologia geral quanto sobre as ocorrências minerais presentes na Província Pegmatítica Oriental, principalmente no estado mineiro.

Os pegmatitos estudados estão inseridos em uma área pertencente à Folha de Marilac (Figura 5), situada sobre a Faixa Araçuaí, porém nas proximidades da borda leste do Cráton do São Francisco (Ribeiro 1997).

De acordo com Ribeiro (1997) a coluna estratigráfica da Folha Marilac está representada na Figura 6.

Figura 5 - Esboço geológico da Folha Marilac, segundo Ribeiro (1997). Em destaque a área estudada.

F A N E R.	C E N O Z. 65Ma	Q U A T E R.	Aluvião	Terraços Aluvionares
	570Ma	NÚCLEO ANTIGO DE GUANHÃES	FAIXA MÓVEL	
P R O T E R O Z Ó I C O	N E O P R O T. 1.000Ma		DOMÍNIO OCIDENTAL	
			GRANITOS SIN- A TARDI TECTÔNICOS	
			Granito Baixa do Bugre	
			GRUPO RIO DOCE	
	M E S O P R O T. 1.800Ma	GRANITOS PRÉ- A SIN TECTÔNICOS		
		Granito Açucena		
	P A L E O P R O T.	GRANITOS PRÉ- A SIN TECTÔNICOS		
		Granito Jenipapo	COMPLEXO MANTIQUEIRA	
2600Ma				
A R Q U E.		GRUPO GUANHÃES		
		COMPLEXO BASAL		

Figura 6 - Coluna estratigráfica da Folha Marilac reproduzida de Ribeiro (1997).

3.1.1 - FAIXA CRATÔNICA (NÚCLEO GUANHÃES)

As rochas deste contexto variam desde o Arqueano até o Proterozóico sendo que as mais antigas estão representadas pelos Complexo Basal e Grupo Guanhães. Os granitos pré- a sintectônicos da Suíte Intrusiva Jenipapo estão relacionadas ao Proterozóico Inferior, enquanto no Proterozóico Médio, são os granitos supostamente da Suíte Borrachudo que compõem o Maciço Açucena. A Suíte Borrachudos foi definida por Dorr & Barbosa (1963) que a consideraram como pós-Minas. Segundo estes autores, a gênese dos granitos estaria ligada a estágios orogenéticos tardios.

3.1.1.1 - COMPLEXO BASAL

Talvez a citação mais antiga desta unidade caiba a Eschwege (1833), que descreveu a ocorrência de esteatito sobre os gnaisses do embasamento na região de Candonga. Vários outros autores teceram considerações diversas sobre estas rochas. O termo Complexo Basal foi citado por Grossi Sad (1993) que agrupou informalmente as rochas do tipo tonalito-trondhjenito-granodiorito (TTG), gnaissificadas e em parte migmatizadas. Os granitóides do tipo TTG pertencentes a este complexo foram denominados por este autor como Suíte Guanhães. Na referida folha, este complexo foi dividido em duas unidades designadas pelos números 1 e 2 (Ribeiro 1997).

3.1.1.1.1 - UNIDADE 1

De ocorrência na porção noroeste da folha, caracteriza-se por uma região acidentada, intensamente intemperizada e com uma rede de drenagem dendrítica.

Os gnaisses são basicamente quartzo-feldspáticos, com pouca biotita, homogêneos a bandados, de granulação fina a média, foliados, contendo freqüentemente intercalações de anfibolito e veios quartzo-feldspáticos. Em lâminas delgadas foram reconhecidas diversas variedades litológicas: a biotita gnaisses com allanita; hornblenda-titanita-biotita gnaisse

granodiorítico; biotita monzodiorito e hornblenda-biotita tonalito com allanita. O metamorfismo que afetou esta seqüência foi do fácies anfíbolito.

3.1.1.1.2 - UNIDADE 2

Esta unidade localiza-se na parte central da folha numa faixa alongada e estreita, de direção praticamente NS, bordejando toda a porção leste do Maciço Granítico Açucena. Geomorfologicamente, trata-se de uma área acidentada e montanhosa e cuja drenagem possui uma feição dendrítica a subparalela.

Os gnaisses são compostos basicamente por quartzo e feldspatos com teores menores em biotita. São bandados, de granulação predominantemente fina, foliados, friáveis quando alterados e localmente homogêneos. Em lâmina delgada correspondem a hornblenda-biotita gnaisses, às vezes com allanita; biotita gnaisses, eventualmente com hornblenda; biotita gnaisses com hornblenda; allanita-hornblenda-biotita gnaisses monzodioríticos; biotita gnaisses, às vezes com muscovita; hornblenda gnaisses jotunítico; hornblenda-biotita gnaisses dioríticos; ~~milonitos e~~, localmente, websterito. Esses gnaisses comumente encontram-se migmatizados e sofreram metamorfismo no fácies anfíbolito

3.1.1.2 - GRUPO GUANHÃES

Possui uma distribuição pequena que acompanha a borda leste do Maciço Granítico Açucena. Este grupo está relacionado à uma seqüência vulcano-sedimentar que engloba xistos aluminosos, grafitosos, calciossilicáticos, ultramáficos e máficos; quartzitos; quartzito ferruginoso; formações ferríferas e manganíferas; mármore e gnaisses grauvaquianos. O metamorfismo é similar ao do Complexo Basal (Grossi Sad *et al.* 1990).

3.1.1.3 - GRANITOS PRÉ- A SINTECTÔNICOS

As rochas deste grupo estão relacionados ao Paleoproterozóico (Suíte Intrusiva Jenipapo - Granito Jenipapo) e ao Mesoproterozóico (Granito Açucena).

3.1.1.3.1 - SUÍTE INTRUSIVA JENIPAPO

Esta suíte intrusiva é caracterizada por rochas graníticas compostas essencialmente por quartzo, feldspato e com pouca biotita. As rochas são leucocráticas, de coloração cinza claro a esbranquiçado, levemente a bem foliada, de granulação fina, às vezes com magnetita dispersa no conjunto e/ou em veios félsicos. Em lâminas delgadas essas rochas foram agrupadas sob a denominação biotita monzodiorito. As rochas graníticas também são cortadas por veios pegmatóides e quartzo-feldspáticos.

3.1.1.3.2 - MACIÇO GRANÍTICO AÇUCENA

Segundo Ribeiro (1997), este maciço é representado por um grande corpo de forma irregular, apresentando uma área montanhosa, cujos morros exibem formas de “pão-de-açúcar” e “meia-laranja”, além de escarpas rochosas abruptas.

A denominação Suíte Borrachudos, segundo Grossi Sad *et al.* (1990) representa um conjunto de corpos graníticos localizados na região Leste do Estado de Minas Gerais, entre as cidades de Itabira e Guanhães, individualizando os corpos Itabira, Açucena, Peti, Morro do Urubu, São Félix e Senhora do Porto. Para estes autores, a característica desta suíte é a uniformidade composicional e a ausência de xenólitos no interior dos corpos graníticos, caracterizando-os como sin-colisionais de idade Minas. Através de datação Pb/Pb em zircão, Dossin *et al.* (1993) obtiveram idades de 1,7Ga, correlacionando-os à abertura do Espinhaço.

Litologicamente, predominam gnaisses granitóides constituídos basicamente de quartzo, feldspato, biotita e hornblenda, sendo freqüente a ocorrência de allanita, titanita e granadas. Observações microscópicas indicam que essas rochas correspondem a hornblenda-biotita granito, com allanita e granadas; hornblenda biotita gnaiss com allanita, allanita-hornblenda-biotita, localmente jotunito, opdalito e enderbite. Quanto a origem, Chemale Jr. (1987) relacionou esses granitos a magmatismo anorogênico, a partir de magma granítico rico em álcalis e pobre em água, deformados e metamorfisados durante o orogenia do Supergrupo Minas. O metamorfismo desta área é do fácies anfibolito com picos de temperatura atingindo o fácies

granulito (Pinto *et al.* 1997). Para Grossi Sad (1993) a mineralogia dos Granitos Borrachudos não foi modificada pelo metamorfismo regional.

As rochas da Suíte Borrachudos, segundo Fernandes *et al.* (1994), são composicionalmente homogêneas, de granulometria média a grossa; a biotita é o principal mineral máfico, seguida pelo anfibólio, sendo ambos responsáveis pela foliação magmática imposta à estas rochas.

Como o objetivo desta Tese não incluía originalmente o estudo de granitos, não foram realizados estudos petrográficos e químicos sistemáticos dessas rochas. Nessas condições foram efetuadas apenas descrições mineralógicas e análises químicas em algumas amostras com a finalidade de correlacionar esses dados com as dos pegmatitos selecionados para este trabalho. As poucas amostras de granitos, selecionadas para estudo, foram coletadas ao longo da Rodovia Estadual MG-134, asfaltada, que liga Governador Valadares a Gonzaga. As quatro primeiras amostras, 5735, 5736, 5737 e 5738, distam, aproximadamente 2km da área selecionada para o estudo. Dentre estas, a distância da primeira para a última amostra é menor que 1km. Todas elas pertencem ao Distrito de Santo Antônio do Porto. A quinta amostra, 5739, foi coletada no perímetro urbano de Santa Efigênia de Minas, a cerca de 50km das primeiras e a última, 5740, no perímetro urbano de Gonzaga, a aproximadamente 5km da penúltima.

As quatro primeiras amostras apresentam características bastante semelhantes. Estudos microscópios mostraram que essas rochas exibem textura granular, sendo constituídas essencialmente por microclínio, quartzo e plagioclásio, além de biotita. Os minerais acessórios são zircão, apatita e allanita, que tendem a ocorrer associados aos minerais máficos. O microclínio pode ou não conter lamelas pertíticas, ao passo que o quartzo exhibe feições como bandas de deformação e extinção ondulante. O plagioclásio apresenta-se fortemente alterado, principalmente para sericita, sendo mirmecítico no contato com o microclínio. Observa-se uma certa alteração da biotita para muscovita e clorita. Pequenas massas de carbonato, de cristalização tardia, também estão presentes.

As duas últimas amostras são semelhantes entre si, sendo caracterizadas pela aglomeração dos minerais máficos segundo níveis centimétricos descontínuos. A mineralogia é representada pelo microclínio, que apresenta maior proporção de pertita relativamente às amostras anteriores, além de quartzo e plagioclásio de aspecto límpido. O contato do plagioclásio, menos alterado que as quatro primeiras, com o microclínio é sempre reativo, com o desenvolvimento de bordas de albitização ou mimerquitas. Os minerais máficos principais são

biotita e anfibólio que ocorrem agrupados definindo uma foliação. A amostra 5740, da região de Gonzaga, distingue-se pela ocorrência de granada. Quanto às fases acessórias, estas são representadas por apatita, allanita, zircão, titanita e minerais opacos.

Quanto às análises químicas das amostras coletadas, essas encontram-se na Tabela 6, além de outras análises do mesmo granito realizadas por outros autores. Numa interpretação preliminar, parece haver uma variação composicional nas amostra aqui analisadas na direção da 5740, mais distante da área, para a 5736, a mais próxima. A Figura 7 exhibe a assinatura do granito, com os valores de elementos terras raras normalizados em relação ao condrito. Observa-se um *trend* na variação dos elementos terras raras e no caso do Eu, a anomalia negativa diminui em função do anfibólio presente na rocha. Esta variação pode ter implicações com os pegmatitos da área o que será tratado nos capítulos subseqüentes.

3.1.2 - FAIXA MÓVEL (DOMÍNIO OCIDENTAL)

As rochas desta faixa possuem idades que variam do Proterozóico Inferior ao Superior. As mais antigas estão representadas pelo Complexo Mantiqueira, seguido pelo Grupo Rio Doce, Formação São Tomé, e pelos granitos sin- a tarditectônicos, localizados na região conhecida como Baixa do Bugre. As duas últimas unidades pertencem ao Neoproterozóico.

3.1.2.1 - COMPLEXO MANTIQUEIRA

Inicialmente este complexo foi designado de “Série” Mantiqueira por Barbosa (1954) e posteriormente de “Grupo” por Trouw *et al.* (1986). Viana (1991) e Brandalise (1991) reuniram as rochas de natureza ortoderivada, constituídas de ortognaisses do tipo TTG, com intercalações de anfibolito, além de pequenos corpos de rochas granulíticas, designando de Complexo Mantiqueira.

Tabela 6 – Análises químicas do granito Açucena pertencente à Suite Borrachudos. As 5 primeiras amostras foram obtidas no decorrer desta Tese, enquanto as demais foram compiladas de: Dussin (1994)[1]; Grossi Sad et al. 1990[2]; Chemale Jr. 1987[3], Herz 1970 [4]; {n} número de análises dadas como média quando várias; - não analisado; n.d. não detectado. (% em peso para óxidos e ppm para elementos traço).

Amostras	5736	5737	5738	5739	5740	A69b ¹	A.211 ¹	A.111b ¹	A.220 ¹	A ²	IB ^{2,3,4}
(n)	1	1	1	1	1	12	13	14	15	1	12
SiO ₂	71,10	72,90	71,10	69,10	66,40	67,80	71,30	74,05	75,10	74,3	74,26
TiO ₂	0,33	0,14	0,34	0,51	0,78	0,62	0,30	0,21	0,17	0,21	0,23
Al ₂ O ₃	14,90	14,90	14,00	13,70	13,60	12,40	12,60	11,70	11,20	12,2	11,45
Fe ₂ O _{3t}	3,22	1,20	3,48	5,13	7,23	7,79	3,40	1,04	2,22	2,60	3,68
MnO	0,01	<0,01	0,02	0,05	0,09	0,14	0,05	0,02	0,05	0,03	0,03
MgO	0,40	0,24	0,47	0,40	0,58	0,40	0,06	0,04	0,04	0,25	0,10
CaO	1,87	1,15	0,99	1,90	2,56	2,10	1,10	0,85	0,72	0,95	0,89
Na ₂ O	3,88	3,30	2,46	2,96	2,52	3,90	4,20	2,90	3,60	3,20	3,55
K ₂ O	3,12	4,26	6,05	5,23	5,15	4,20	5,70	6,30	5,60	5,80	5,37
P ₂ O ₅	0,08	0,06	0,08	0,12	0,20	0,15	n.d.	n.d.	n.d.	0,05	0,06
PF	0,43	1,11	0,44	0,16	0,20	1,10	1,29	0,88	1,40	0,54	0,86
TOTAL	99,30	99,20	99,40	99,20	99,40	99,98	99,78	98,17	100,00	-	100,38
Ba	166	226	332	810	979	640,0	950,0	160,0	360,0	940	360,0
Rb	110	125	166	112	68	230,0	190,0	360,0	280,0	230	289,0
Sr	125	179	123	87	100	60,0	93,0	35,0	51,0	120	32,0
Zr	482	363	440	429	612	960,0	410,0	220,0	270,0	-	500,0
Nb	45	48	23	16	5	57,0	62,0	50,0	28,0	28,0	72,0
Y	31	48	41	44	23	120,0	92,0	72,0	22,0	140	134,0
Cr	16	5	<5	<5	5	-	-	-	-	-	-
Ni	93	88	67	63	74	-	-	-	-	-	12,0
V	<5	<5	<5	<5	<5	56,0	-	-	-	20	-
Co	11	19	7	10	12	n.d.	-	-	-	-	-
Cs	<5	<5	<5	<5	6	-	-	-	-	-	-
Cu	72	80	67	67	65	6,0	4,0	2,0	n.d.	3,0	21,5
Mo	<5	<5	<5	<5	<5	-	-	-	-	-	-
Pb	35	52	37	25	15	-	-	-	-	-	-
Zn	65	37	68	81	90	196,0	75,0	160,0	86,0	89,0	130,0
F	-	-	-	-	-	0,16	0,12	0,27	0,12	0,28	0,26
Ga	-	-	-	-	-	30,0	19,0	21,0	18,0	20,0	30,0
Sc	-	-	-	-	-	18,0	-	-	-	-	-
Th	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25,5
Be	-	-	-	-	-	3,0	3,0	8,0	2,0	2,0	5,0
U	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ta	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Hf	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

continua

continuação

La	493,868	231,316	467,702	32,625	290,842	162,80	337,60	156,80	90,27	214,6	132,52
Ce	356,482	217,432	357,736	253,018	228,719	295,80	591,00	283,10	163,90	231,2	234,20
Nd	197,616	95,884	198,438	148,501	135,564	127,00	269,60	121,60	69,87	145,0	92,19
Sm	136,883	65,390	128,377	99,545	97,662	25,70	59,60	32,10	18,64	20,35	19,84
Eu	40,141	25,078	37,177	49,741	53,844	2,80	4,60	0,89	0,99	2,12	1,33
Gd	80,078	32,927	71,170	63,779	64,953	22,10	38,85	22,33	13,80	29,14	16,78
Dy	34,191	14,282	31,755	46,753	44,982	21,30	27,68	21,01	12,14	27,99	15,74
Ho	23,898	12,134	23,404	42,610	40,988	-	-	-	-	6,01	-
Er	14,572	8,880	13,843	37,536	35,108	13,20	14,43	11,31	7,56	17,34	6,41
Tm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Yb	6,136	5,669	6,051	31,066	30,279	11,30	11,38	8,82	5,96	15,55	8,42
Lu	9,059	6,065	5,632	27,767	28,318	1,40	1,45	1,02	0,79	1,82	0,95
(La/Yb) _n	-	-	-	-	-	9,72	20,02	12,01	10,23	-	10,62
(La/Lu) _n	54,519	38,137	83,042	11,750	10,270	-	-	-	-	-	-
(La/Sm) _n	3,608	3,538	3,543	3,277	2,978	3,99	3,57	3,08	3,05	4,76	4,21
(Gd/Yd) _n	-	-	-	-	-	1,58	2,76	2,05	1,87	-	1,61
(Yb/Gd) _n	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,66	-
Eu/Eu*	0,37	0,51	0,373	0,609	0,662	0,35	0,27	0,10	0,18	0,22	0,22

Figura 7 - Distribuição dos elementos terras raras em cinco amostra de granitos próximos da área, normalizados pelo padrão condrito. As três primeiras amostras são granito a biotita e as duas últimas granitos a anfibólio e biotita.

As rochas deste complexo são representadas por gnaisses migmatíticos ou não, constituídos basicamente por quartzo, feldspato e biotita, com hornblenda, microclínio e granada. Esses gnaisses apresentam coloração cinza, granulação fina a média, sendo bandados a homogêneos e localmente porfiroblásticos. Podem apresentar biotita xistos intercalados. É comum o intercrescimento de feldspato conferindo à rocha um aspecto de granodiorito. Este complexo apresenta inúmeros veios pegmatíticos concordantes e discordantes.

A partir de estudos petrográficos dessas rochas, foram identificados biotita gnaisses com granada, eventualmente blastomiloníticos, protomiloníticos a miloníticos. Também estão presentes intercalações de quartzitos que ocorrem em lentes, do tipo sacaroidal e geralmente feldspáticos; anfibolito, sendo a hornblenda o principal mineral constituinte, de granulação fina e rochas calciossilicáticas constituídas por quartzo, feldspato, diopsídio e epidoto, apresentando granulação fina e lentes associadas. Este complexo sofreu metamorfismo do grau anfibolito a granulito. O contato deste complexo com os xistos da Formação São Tomé é por falha de empurrão em toda sua extensão.

3.1.2.2 - GRUPO RIO DOCE

Na parte oriental da Faixa Araçuaí, onde se localiza a área em estudo, e sotoposto a terrenos mais antigos do Cinturão Atlântico, situa-se o Grupo Rio Doce, descrito pela primeira vez por Barbosa *et al.* (1966), na região do médio rio Doce. Este grupo é composto por três formações: Tumiritinga e São Tomé que são lateralmente correlatas e representam as unidades basais do grupo, e João Pinto no topo. Há também uma parte do grupo sem formações discriminadas.

Estruturalmente, o Grupo Rio Doce está complexamente deformado e metamorfizado no fácies anfibolito. De um modo geral, este grupo representa uma mega-seqüência psamo-pelítica, sem termos conglomeráticos. O contato a oeste dá-se por falha de empurrão, cavalgando os metagranitos do corpo Açucena. Rochas vulcânicas associadas à deposição do grupo não são relatadas na literatura (Pedrosa Soares *et al.* 1994a). Quanto à idade do Grupo Rio Doce, Grossi Sad *et al.* (1989) e Grossi Sad *et al.* (1990) sugerem ser do Proterozóico Médio, ou mesmo do Proterozóico Inferior.

Segundo Pedrosa Soares *et al.* (1994a), os metassedimentos atribuídos ao Grupo Rio Doce poderiam ser correlacionados à porção distal da Formação Salinas do Grupo Macaúbas. O grau metamórfico desta faixa cresce, geralmente, desde o fácies xisto verde na borda do Cráton São Francisco até o fácies anfibolito nas porções internas da faixa.

Dentre todas as unidades da coluna estratigráfica, esta é a de maior interesse quanto ao aspecto econômico. Os pegmatitos explorados para gemas e peças de coleção, além de minerais industriais, são abundantes nos xistos da Formação São Tomé no domínio ocidental, sendo raros no domínio oriental da Faixa Móvel.

3.1.2.2.1 - FORMAÇÃO SÃO TOMÉ

Barbosa *et al.* (1964) estudaram os metassedimentos de uma pequena área entre Galiléia e Conselheiro Pena e designaram de Formação São Tomé. Esta formação foi integrada ao Grupo Rio Doce por esses mesmos autores em 1966. Posteriormente outros pesquisadores ampliaram esta área.

Os metassedimentos são representados por rochas xistosas constituídas essencialmente por quartzo, biotita, muscovita, feldspato, granada (localmente), sillimanita, fibrolita (variedade fibrosa da sillimanita) de ocorrência local e turmalina. Essas rochas exibem uma coloração cinza a avermelhada quando alteradas, apresentam granulação fina com algumas intercalações mais grosseiras, mostrando foliação forte com bandamentos frequentes. Em lâminas delgadas, essas rochas correspondem a micaxistos com granada; quartzo-plagioclásio-mica xistos com granada; feldspato-micaxistos; sillimanita-muscovita-biotita xistos; granada-muscovita-biotita-quartzo xistos feldspáticos; muscovita xistos; mica-feldspato-quartzo xistos; milonito; localmente xistos gnassóides e gnaisses (Ribeiro 1997).

Numerosos filões de quartzo também estão presentes nesta formação, além dos corpos pegmatíticos, que são economicamente importantes para a exploração de quartzo, feldspato, berilo industrial e a variedade gemológica água-marinha, além de turmalinas verdes, azuis e róseas.

O metamorfismo desta formação de um modo geral, é do fácies anfibolito de grau médio a baixo. As rochas desta unidade estão em contato tectônico por falha de empurrão tanto a oeste

com as rochas gnáissicas do Grupo Guanhães, quanto a leste com os gnaisses do Complexo Mantiqueira.

3.1.2.3 - GRANITOS SIN- A TARDITECTÔNICOS

Estas rochas, classificadas com o granito do tipo I por Carvalho & Pereira (1997a), são do Neoproterozóico e estão representadas pelo Granito Baixa do Bugre na Folha Marilac.

3.1.2.3.1 - GRANITO BAIXA DO BUGRE

São gnaisses granitóides compostos essencialmente de quartzo, feldspato, biotita e anfibólio; apresentam coloração cinza a esverdeada, granulação fina a grossa, foliação forte e freqüentes cristais de feldspato na forma de pórfiros de até 3cm, orientados e/ou aleatórios. Microscopicamente, estas rochas correspondem a hornblenda-biotita gnaisse granodiorítico e biotita tonalito com hornblenda milonítico.

O Granito Baixa do Bugre, corta discordantemente as rochas gnáissicas do Complexo Mantiqueira e os xistos da Formação São Tomé.

3.1.3 - ROCHAS INTRUSIVAS

Todas as rochas de posicionamento incerto, básicas, em parte metamorfasadas, e metaultrabásicas distribuídas aleatoriamente e/ou intercaladas nas várias unidades da Folha Marilac, enquadram-se neste item. As rochas básicas correspondem a quartzito anfibolito, às vezes, granatíferos, metagabro às vezes, com granada e jutonito. As metaultrabásicas são representadas pelos tremolita xistos.

3.1.4 - TERRAÇOS ALUVIONAIS

A maior concentração ocorre ao longo dos vales, ocupando principalmente as margens dos cursos d'água. Essas coberturas são constituídas por materiais detríticos areno-argilosos, argilosos, arenosos e conglomeráticos, apresentando cores diversas.

A estrutura primária marcante é o acamamento bem definido, formado principalmente por cascalhos ricos em seixos de diferentes tamanhos e formas, cujo imbricamento indica as paleocorrentes. Estes sedimentos possuem idade quaternária.

3.1.5 - ALUVIÕES

Da mesma forma que os terrenos aluvionares, estes concentram-se nos diversos cursos d'água da área, principalmente ao longo dos córregos da Onça, Ferreirinha, Areião, São Domingos e Chonim de Baixo e de Cima. São caracterizados por sedimentos detríticos, inconsolidados, depositados nas calhas e nas planícies de inundação dos vários cursos d'água, sendo constituído por cascalhos, areias, siltes e argilas. Estes materiais possuem cores diversas e sua granulometria é muito variável, de muito fina a muito grosseira. Também são depósitos sedimentares recentes pertencentes ao Quaternário.

3.2 - CONTEXTO GEOTECTÔNICO

Com relação à geologia, os pegmatitos da Província Oriental estão encaixados em litologias atribuídas a duas grandes unidades tectônicas distintas. Tanto a porção oriental como a meridional da província fazem parte da Faixa Dobrada Paraíba do Sul, segmento setentrional da Faixa Dobrada Ribeira (Hasui *et al.* 1975) do Ciclo Transamazônico (2.200-1.800Ma), mas remobilizada no Ciclo Brasileiro (700-450Ma) (Cunnigham *et al.* 1996). Para estes últimos autores, a Faixa Ribeira não é citada mas sim a Araçuaí até o limite sul do Cráton São Francisco. As porções ocidental e setentrional, pertencem ao Ciclo Brasileiro e estão situadas em terrenos da Faixa de Dobramento Araçuaí (Almeida *et al.* 1976).

Há certas divergências, na literatura, entre os autores em relação aos limites da subdivisão da Província Mantiqueira em cinturões orogênicos brasileiros. Resumidamente, esta província é subdividida em três Cinturões ou Faixas, Araçuaí, Ribeira e Atlântico.

O arcabouço geotectônico de Minas Gerais, onde a área em estudo está inserida, é caracterizado pela megaestruturação de primeira ordem, no contato entre dois grandes blocos crustais, Brasília e Vitória, de idade arqueana a paleoproterozóica. Numa segunda etapa, no intervalo mesoproterozóico, houve o estabelecimento de extensos cinturões orogênicos e coberturas plataformais relacionadas à individualização do Cráton do São Francisco. Um destes cinturões é representado pela Faixa Móvel Araçuaí. A megaestruturação foi baseada em dados geofísicos de Haralyi & Hasui (1982) e Haralyi *et al.* (1985).

Na literatura, o Bloco Brasília possui interpretações menos contraditórias ao passo que os demais, Vitória, São Paulo e Paraná, são muito contraditórias. Segundo Pedrosa Soares *et al.* (1994a) a dúvida seria a seguinte: seriam estes blocos representantes de paleocontinentes arqueanos, ou teriam sido formados por acreção crustal proterozóica de terrenos de diversas idades?

O arcabouço dos três grandes blocos crustais (Brasília, Vitória e São Paulo) são constituídos por rochas arqueanas, sendo os dois primeiros de interesse para o presente estudo. O Bloco Brasília é caracterizado pela predominância de complexos gnáissico-granitóides e seqüências meta-vulcano-sedimentares do tipo *greenstone belt*. Já o Bloco Vitória é formado por terrenos de alto grau metamórfico e por complexos gnáissicos-granitóides. A maior parte das rochas expostas no Bloco Vitória constituem o Cinturão de Alto Grau Atlântico, termo este designado por Leonardos & Fyfe (1974). A evolução deste cinturão constitui uma seqüência complexa devido ao policiclismo tectônico.

Durante o neoproterozóico, as unidades geotectônicas estabelecidas neste período foram o Cráton do São Francisco e suas faixas móveis marginais desenvolvidas no Ciclo Brasileiro. Dentre as seis faixas, a Araçuaí é a de maior interesse devido à localização da área em estudo.

A Faixa Araçuaí, em grande parte, é caracterizada por um cinturão de dobramentos e empurrões, estruturados sobre rochas dos Grupos Macaúbas e Rio Doce, Supergrupo Espinhaço e de unidades mais antigas (Pedrosa Soares *et al.* 1994a).

Durante o desenvolvimento da Faixa Araçuaí, esta foi acompanhada de uma granitogênese sin- a pós-tectônica, sendo que a porção mais distal foi marcada por intensa anatexia crustal. Os corpos graníticos mais tardios, do final do Brasileiro, constituem intrusões

com idades em torno de 500Ma. Em função do fechamento colisional do orógeno, devido ao espessamento crustal progressivo, resultou numa geração sucessiva de granitóides (Pedrosa Soares & Siga Jr. 1987, Pedrosa Soares *et al.* 1992a e b, Pedrosa Soares *et al.* 1994a).

Principalmente nos domínios tectônicos internos das Faixas Araçuaí e Brasília ocorrem intrusões granitóides que podem atingir dimensões batolíticas. A grande maioria desses granitóides apresenta uma composição granítica a granodiorítica, sin- a pós-tectônicos em relação ao evento Brasileiro (Fuck *et al.* 1993).

A região, onde estão inseridos os pegmatitos em estudo, está localizada a leste da serra do Espinhaço, no vale do rio Doce em terrenos da Faixa Araçuaí.

De acordo com o trabalho de Ribeiro (1997), por questões de simplificação, a Folha Marilac foi descrita com dois domínios tectônicos; um cratônico pré-Brasileiro (Núcleo Antigo de Guanhanes) e outro de Faixa Móvel, com um subdomínio ocidental e outro oriental. Os dois domínios, com características estruturais, metamórficas, litológicas e magmáticas distintas, são separados por importantes falhas de empurrão, zona de cisalhamento, com movimento de leste para oeste, onde o gradiente metamórfico cresce de oeste para leste.

O primeiro domínio, Núcleo Antigo de Guanhanes, Arqueano, é representado por gnaisses TTG com rochas máficas e ultramáficas associadas (Complexo Basal), sequência vulcano-sedimentar e granitóides alcalinos de província cálcio-alcalina (Suíte Borrachudo com o Granito Açucena). O subdomínio ocidental da Faixa Móvel proterozóica é marcado por uma ampla sedimentação de ambiência marinha, representada por xistos e gnaisses peraluminosos, com estauroлита, sillimanita, cordierita e granada em quantidades variadas (de ausente a abundante), em parte migmatizados, contendo quartzito, rocha Calciossilicática e mármore dos Grupos Rio Doce e Macaúbas. No Neoproterozóico, provavelmente ocorreu uma intensa granitização em toda a Faixa Móvel, resultando na formação de granitos pré-, sin- e tarditectônicos e pouca quantidade de pós-tecônicos.

4 - O CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC

O Campo Pegmatítico de Marilac está inserido no Distrito Pegmatítico de Governador Valadares, localizado a noroeste da cidade de Governador Valadares. A importância deste campo está na produção de feldspato para a indústria cerâmica e vidreira seguida da extração de minerais-gemas e amostras de coleção.

4.1 - PEGMATITOS: UMA REVISÃO

O termo pegmatito é derivado do grego, cujo significado é “unido ou cimentado em uma estrutura” (Kemp 1924). Esse termo já era empregado desde o fim do século XVIII para granitos com textura gráfica, proposto pelo padre R. J. Haüy (Brogniart 1813, *in* Correia Neves 1981). Mais tarde, Nauman (1854, *in* Correia Neves 1981), aplicou o termo também para rochas de granulometria grosseira e de composição granítica.

Outra denominação para os pegmatitos, segundo Bastin (1911, *in* Jahns 1955), está na irregularidade dos tamanho dos grãos. Fersman (1931, *in* Fersman 1951) associou os pegmatitos graníticos a corpos filonianos, cuja base é caracterizada pelo vínculo com resíduos magmáticos graníticos, e cuja parte principal da cristalização concentra-se numa faixa de 700 a 350°C, destacando-se ainda o notável tamanho dos grãos. Landes (1933a e b) definiu os pegmatitos como sendo rochas intrusivas holocristalinas, compostas pelos minerais formadores de rochas, cujo tamanho são, na grande maioria, maiores do que os das rochas plutônicas equivalentes. Esta definição é um pouco restrita, devido ao seu caráter genético. Jahns (1955) com idéia semelhante a de Landes, basicamente acrescentou outras características, como por exemplo, um zoneamento interno e fenômenos de substituição.

Algumas das características dos pegmatitos, como a forma, o tamanho e a orientação, estariam ligadas às pressões do fluido pegmatítico, condições de plasticidade e estado reológico das encaixantes, pressões litostáticas e dirigidas, entre outras (Brisbin 1986).

4.1.1 - CLASSIFICAÇÃO

De acordo com vários autores, há várias maneiras de se classificar um pegmatito levando-se em conta fatores tais como forma, tamanho, relação com as rochas encaixantes, textura interna, mineralogia, gênese, ou ainda, associando mais de uma dessas características.

Fersman (1931, in Fersman 1951) classificou os pegmatitos quanto à mineralogia e à estrutura interna em homogêneos ou simples e, em heterogêneos ou complexos.

Com base na mineralogia, Landes (1933a e b) agrupou os pegmatitos em três tipos: ácidos, intermediários e básicos. Para cada um desses tipos, ainda pode-se ter pegmatitos simples e complexos. Aqueles que não sofreram uma substituição hidrotermal, são chamados de simples, enquanto os que sofreram, além de geralmente possuírem minerais raros, caracterizam os complexos.

Quanto aos aspectos texturais, Johnston (1945a, b e c) classificou os pegmatitos do nordeste brasileiro em homogêneos e heterogêneos. Os homogêneos apresentam textura uniforme, enquanto os heterogêneos são caracterizados pelo alto grau de diferenciação textural com zoneamento interno distinto, cristais grandes e minerais raros.

De acordo com Cameron *et al.* (1949), os pegmatitos dos EUA foram classificados em zonados e não zonados. Os zonados apresentam camadas sucessivas, completas ou não, dispostas concêntricamente em relação a um núcleo. Essas zonas diferem-se entre si pela textura e composição mineralógica, ou por ambas.

Outra classificação muito utilizada é de Ginsburg *et al.* (1979, in Cerný 1982a), cujas características principais são o aspecto geológico-petrográfico e a profundidade de formação dos corpos pegmatíticos. Segundo esta classificação, existem quatro tipos de pegmatitos cujas características principais estão condensadas nos parágrafos seguintes.

Pegmatitos miarolíticos: são formados em pequenas profundidades entre 1,5 e 3,5km, situados na parte superior de granitos epizonais intrudidos em rochas de baixo grau metamórfico. Neste caso, quartzo, fluorita, berilo e topázio concentram-se em cavidades.

Pegmatitos portadores de elementos raros: são corpos de níveis intermediários (3,5 a 7,0km), com mineralizações de Li, Rb, Cs, Ta, Nb, Be, Sn, Zr, Hf, Ga, Bi e Mo. Segundo Winkler (1977), são gerados por fracionamentos de granitos alóctones diferenciados, preenchendo fraturas em rochas do fácies anfibolito com cordierita.

Pegmatitos muscovíticos: são típicos de níveis profundos (7-8 a 10-11km) que, segundo Winkler (1977), estão encaixados em micaxistos do fácies almandina-anfibolito. Apresentam um baixo teor em elementos raros. Esses pegmatitos são derivados de granitos anatéticos mais ou menos autóctones, ou direto de anatexia e, consolidam-se próximos ao foco da geração magmática.

Pegmatitos abissais: são corpos que ocorrem em grandes profundidades (>11km), sendo encontrados em terrenos metamórficos do fácies anfibolito alto a granulítico (Winkler 1977). Esses corpos são quase autóctones, sendo originados por fusão parcial dos metamorfitos de alto grau que os encaixou. Podem conter raramente allanita, monazita e coríndon, mas sem mineralizações econômicas. Estes pegmatitos, geralmente gradam para migmatitos, e com isto não apresentam corpos graníticos parentais evidentes.

Mais recentemente, Cerný (1991a) classificou os pegmatitos de origem granítica em quatro classes, cujas características principais estão resumidas na Tabela 7.

4.1.2 - TAMANHO E FORMA

Pelo fato dos corpos pegmatíticos raramente aflorarem por inteiro, seu tamanho dificilmente é conhecido. Quanto ao comprimento, vênulas de separação leucocráticas desde alguns centímetros representam, geralmente, as dimensões mínimas; as máximas, por outro lado, podem alcançar até 1.500m, enquanto as espessuras variam de alguns centímetros a mais de 150m (Correia Neves 1981). De acordo com Issa Filho *et al.* (1980), a espessura dos pegmatitos constitui um critério de classificação podendo ser muito pequeno (<0,5m), pequeno (0,5 a 5,0m), médio (5,0 a 15,0m), grande (15,0 a 50,0m) e, finalmente, muito grande (>50,0m).

Tabela 7 - Classificação dos pegmatitos graníticos (adaptado de Cerný 1990 e 1991a).

Classe	Família	Elementos menores típicos	Ambiente metamórfico	Relações com granitos	Feição estrutural
Abissal	—	U, Th, Zr, Nb, Ti, Y, ETR, Mo. Mineralização pobre a moderada	(anfíbolo alto), fácies granulito baixa a alta P; ~4-9 kbar, ~700-800°C	nenhuma (segregação de leucossomas anatéticos)	concordante
Muscovítico	—	Li, Be, Y, ETR, Ti, U, Th, Nb>Ta. Mineralização pobre a moderada, micas e minerais cerâmicos	alta pressão, fácies anfíbolo Barrowiano (cianita-sillimanita); ~5-8kbar; ~650-580°C	nenhuma (corpo anatético) para marginal e exterior	quase concordante a discordante
Elementos raros / muscovítico	—	elementos menores - misto (entre as classes superior e inferior); mineralizações também mistas	anfíbolo de média pressão (cianita - sillimanita), tipo Barrowiano ~4-6kbar; ~550-650°C	externos a marginais, corpos residuais	quase concordantes a discordantes em xistos e quartzitos (faixas colisionais)
Elementos raros	LCT	Li, Rb, Cs, Be, Ga, Sn, Hf, Nb > ou < Ta, B, P, F. Mineralização pobre a abundante; gemas; minerais industriais.	baixa P, fácies anfíbolo Abukuma (a xisto verde alto) fácies (andaluzita-sillimanita), ~2-4kbar, ~650-500°C	(interior a marginal) exterior	quase concordante a discordante
	NYF	Y, ETR, Ti, U, Th, Zr, Nb>Ta, F. Mineralização pobre abundante; minerais cerâmicos	variável	interior a marginal	<i>pods</i> interiores concordantes a discordantes (com corpos exteriores)
Miarolítico	NYF	Be, Y, ETR, Ti, U, Th, Zr, Nb>Ta, F. Mineralização pobre; gemas.	superficial a subvulcânico; ~1-2kbar	interior a marginal	<i>pods</i> interiores e diques discordantes

LCT - Li, Cs e Ta.

NYF - Nb, Y e F.

pods - "bolsão", corpos ovalados.

Devido à diversidade de formas conhecidas nos diversos corpos pegmatíticos, não há uma feição típica. Este fato se deve às estruturas regionais presentes nas rochas encaixantes, como por exemplo acamamento, xistosidade, diáclases, dobras além do material pegmatítico posicionado nestas estruturas (Correia Neves 1981).

Dentre as formas mais comuns merece destaque a tabular, que pode ser horizontal, vertical ou inclinada, concordante ou não em relação às encaixantes; além de lenticulares; semelhante a veios; ramificadas ou em massas irregulares; circulares ou elípticas.

4.1.3 - MINERALOGIA E GEOQUÍMICA

Quanto à mineralogia, nos pegmatitos predominam minerais pertencentes às classes dos silicatos, fosfatos e óxidos (Kemp 1924, Jahns 1955, Cerný 1982a, Norton 1983). No entanto, Rolf (1946) apresenta uma lista de minerais onde quase todas as classes minerais estão presentes. Normalmente nos pegmatitos graníticos, o quartzo e os feldspatos (feldspatos potássicos e plagioclásios) são os minerais essenciais, enquanto as micas (muscovita, biotita, flogopita, e lepidolita) geralmente são o terceiro componente mais abundante.

Dependendo de cada zona pegmatítica, existe uma associação mineralógica distinta, e assim sendo, Cameron *et al.* (1949) definiu onze tipos de associações que, quase sem dúvida, representam a totalidade dos pegmatitos existentes. A Tabela 8 ilustra as onze associações mineralógicas, sem contudo caracterizar a mineralogia acessória. Estes são representados pelo berilo, crisoberilo, topázio, turmalinas, apatita, granadas, cordierita, epídoto, espodumênio, lepidolita, rutilo, zircão, ilmenita, anatásio, ferrocolumbita-tantalita, wolframita, scheelita, petalita, ambligonita, fenaquita, euclásio, berilonita, polucita, rhodizita, gahnita, xenotímio e trifilita, entre outros.

Certos minerais podem ser característicos de alguns pegmatitos, como os graníticos que encerram polucita, espodumênio, petalita, eucryptita, rhodizita, hambergita, manandonita, simpsonita, além de fases complexas de Ti, Nb, Ta e terras raras, entre outros, caracterizando minerais industriais ou simplesmente raridades mineralógicas (Cerný 1982b).

Apesar da dificuldade de se amostrar um pegmatito, devido sua distribuição não uniforme e grande variação granulométrica dos minerais, é de suma importância obter

informações sobre sua composição química. Desta forma, esses dados nos fornecem informações importantes a respeito de sua origem, relação com as encaixantes, evolução dos corpos, grau de diferenciação do magma, etc.

Tabela 8 - Associações mineralógicas encontradas nas diferentes zonas pegmatíticas, sem a mineralogia acessória. A assembléia mineral está na seqüência, ou seja, partindo do contato para o interior do corpo (adaptado de Cameron et al. 1949).

ZONA	ASSOCIAÇÃO MINERALÓGICA
1	plagioclásio + quartzo + muscovita
2	plagioclásio + quartzo
3	quartzo + plagioclásio + feldspato K $\pm$ muscovita $\pm$ biotita
4	feldspato K + quartzo
5	feldspato K + quartzo + plagioclásio + amblygonita + espodumênio
6	plagioclásio + quartzo + espodumênio
7	quartzo + espodumênio
8	lepidolita + plagioclásio + quartzo
9	quartzo + feldspato K
10	feldspato K + plagioclásio + micas litíferas + quartzo
11	núcleo de quartzo

Segundo Cerný (1982a), a composição química dos pegmatitos ricos em micas ou elementos raros, difere da composição média dos granitos pelo baixo teor de CaO, pela relação K_2O/Na_2O variável com o conteúdo dos feldspatos alcalinos, e pelo alto conteúdo de Al_2O_3 . Outros elementos, freqüentemente presentes, são Li_2O (até 2% em peso) em pegmatitos ricos em espodumênio e petalita; Rb_2O em pegmatitos mais fracionados (até 1% em peso); B_2O_3 em pegmatitos ricos em turmalinas ($\pm 0,8\%$ em peso); F nos pegmatitos ricos em lepidolita (com 1% em peso) e, bem menos freqüente o Cs_2O (até 2% em peso) nos depósitos ricos em polucita.

De acordo com Cerný (1991a), podemos ter quatro grupos distintos na abundância de elementos químicos, nas famílias LCT (Li, Cs, Ta) e NYF (Nb, Y, F) de pegmatitos da classe elementos raros distribuídos em ordem decrescente de concentração, Tabela 9.

Deste modo, cada tipo de pegmatito possui um determinado grupo de elementos, ou seja, para os pegmatitos mais profundos, abissais, estes são ricos em Ca, Ba, Sr, Mg, Fe, e Ti; raramente possuem terras raras sendo pobres em elementos raros. Os pegmatitos portadores de elementos raros são acompanhados por Li, Rb, Cs, Tl, Be, Nb-Ta, Ga, Ge, B, F e P. Por outro lado, os elementos Ca, Ba, Sr, Fe, Mn, Ti e, às vezes, Ce, Y, elementos do grupo das terras raras e actnídeos, estão presentes em pegmatitos micáceos. Do mesmo modo que os granitos

plutônicos, Cerný (1982a) observou que para o fracionamento pegmatítico, as relações de certos elementos são bem mais altos, como por exemplo para os pares K/Rb, K/Cs, K/Tl, Ba/Rb, Rb/Sr, Rb/Cs, Rb/Tl, Ti/(Nb-Ta), Th/U, Zr/Hf e Al/Ga. Cerný (1991a) com base em vários trabalhos classificou alguns granitos e pegmatitos a elementos raros com base na porcentagem de alguns elementos químicos como também por algumas razões geoquímicas (Tabela 10)

Tabela 9 - Abundância de elementos químicos nas famílias LCT e NYF segundo Cerný (1991a).

tipos de elementos	LCT	NYF
elementos essenciais	O, Si, Al, K, Na, Li	O, Si, Al, K, Na
elementos subordinados	Rb, Cs, Ca, Fe, Mn, Mg, F, B, P	Ca, Fe, Mg, F, Rb, Ba, Li
elementos menores	Be, Sn, Ba, Sr, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf	Sr, Mn, Y, terras raras, Cl, Be, Ba, Ti, Th, U, Zr, Nb, Ta, B, P, Cs, Hf
elementos traço	Y, terras raras, Ga, W, Sc, C, S, Zn, As, Cu, Pb, Cd, Tl, Ge, Mo, Sb, Bi	Sc, W, Zn, Ga, C, S, Mo, As, Bi

Tabela 10 - Dados de fracionamentos de elementos químicos de granitos e pegmatitos a elementos raros (Cerný 1991a).

Granitos			Pegmatitos a elementos raros					Red Cross Lake
granitos ricos em Ca	leucogranitos peraluminosos de grãos finos		tipo terra raras	tipo berilo	tipo complexo; amblygonita, petalita e espodumênio	subtipo lepidolita	tipo albita-espodumênio	
Li	24	81	19-209	19-622	37-8400	93-4640	5110-10310	1540-9760
Rb	110	305	92-183	101-1065	183-9970	274-1865	1737-5490	6220-14150
Cs	2	8	-12	4-132	9-9400	28-236	104-793	1040-26980
Be	2	4	6-101	4-494	3-605	65-440	97-180	113-294
Ga	17	38	-	-	45-97	-	-177	120-190
Sn	1,5	9	70-800	13-536	12-3170	63-1000	89-894	25-100
Nb	20	24	53-1280	8-260	8-213	25-155	44-150	17-36
Ta	3,6	4,5	9-710	2-204	12-4620	9-346	37-108	244-802
K/Rb	229	159	130-28	120-40	40-5	24-6	80-3,4	2,6-1,6
K/Cs	12600	11000	10500-4650	1800-900	360-6	186-12	360-22	16-0,7
Rb/Cs	55	57,9	32-12	~18	8,5-1,2	13-7	24-6,5	6-0,6
Al/Ga	4820	2080	-	-	1050-600	-	1300-305	750-500
Nb/Ta	5,6	5,0	6-1,7	3,3-1,4	1,1-0,3	2,5-0,10	2-0,4	0,074-0,024

4.1.4 - ESTRUTURA INTERNA

Com base na mineralogia e na textura de uma unidade litológica, é possível caracterizar uma determinada zona pegmatítica. Talvez, uma das melhores hipóteses quanto à origem dessas zonas seja aquela proposta por Uebel (1977). Segundo esse autor, elas ocorrem por deposições sucessivas num sistema aberto. Mudanças de temperatura, pressão e da composição das soluções durante o resfriamento do corpo pegmatítico, causam a deposição das diferentes camadas, resultando em texturas e mineralogia distintas (Figura 8). Segundo Correia Neves (1984), cada zona é formada por uma associação mineralógica particular, no entanto, uma determinada paragénese pode estar presente em duas ou mais zonas mas, com proporções mineralógicas e texturas distintas.

Em alguns tipos de pegmatitos, como nos complexos (Figura 9), Cameron *et al.* (1949) distinguiram três unidades estruturais. 1) camadas sucessivas, completas ou incompletas, refletindo um grau variável da forma e da estrutura do corpo pegmatítico. Essas camadas são concêntricas em torno de um núcleo, em casos ideais; 2) preenchimento de fraturas por assembléias minerais com forma tabular e, finalmente, 3) corpos de substituição de partes preexistentes do pegmatito, sem ou com controle estrutural.

Quanto à terceira unidade, de um modo geral, os bolsões ou corpos de substituição (caldeirões) são cavidades irregulares encontrados normalmente dentro do núcleo e nas zonas intermediárias. Apesar de serem comuns em pegmatitos complexos não são freqüentes. Jahns (1955) estima que as cavidades ocorram em menos que 1% de todos os pegmatitos conhecidos, embora no Brasil, especificamente em Minas Gerais, nos pegmatitos graníticos, estes são abundantes.

Os minerais mais comuns presentes nos corpos de substituição são quartzo, feldspatos, micas e turmalina negra. Raramente ocorrem minerais com qualidade gemológicas como berilo, turmalinas, espodumênio que, às vezes, apresentam-se como cristais gigantesco. O quartzo e os feldspatos em geral são os maiores e mais abundantes. O tamanho dos bolsões pode variar desde alguns centímetros até vários metros, predominando os do primeiro tipo.

Figura 8 - Esquema idealizado da estrutura petrográfica de um corpo pegmatítico vertical, destacando suas várias zonas. A legenda é representada pelos minerais: 1 - feldspato alcalino, quartzo, mica e plagioclásio; 2 - borda de feldspato, geralmente orientada; 3 - albita; 4 - mica e quartzo; 5 - núcleo de feldspato, intercrescido com mica e/ou albita; 6 - quartzo; 7 - quartzo e feldspato gráfico; 8 - berilo, topázio, minerais de Li, P, etc e 9 - zona de contato (Uebel 1977).

Figura 9 - Bloco diagrama idealizado mostrando as relações entre as três unidades estruturais dentro dos corpos pegmatíticos (modificado de Cameron et al. 1949).

London (1986), através de uma pesquisa em pegmatitos miarolíticos do Afeganistão, estudou inclusões fluidas em espodumênio, quartzo, turmalinas e berilo, obtendo para a formação dos corpos de substituição temperaturas entre 425 e 475°C e pressões entre 2,4 a 2,8kbars. A formação de minerais em caldeirões indica o estágio final de cristalização do pegmatito.

Em grande parte das ocorrências, as diferenças mineralógicas e texturais são tão nítidas entre as zonas (Figura 10) que Cameron *et al.* (1949), propôs a seguinte classificação: a) zona de borda ou marginal (*border zone*); b) zona mural (*wall zone*); c) zona intermediária (*intermediate zone*) e, d) núcleo (*core*).

Shigley & Kampf (1984) reuniram os dados de Cameron *et al.* (1949) e de Norton (1983) caracterizando melhor os diferentes tipos de zonas. De um modo geral a zona de borda ou marginal é pouco espessa (alguns centímetros) e de granulometria fina. Devido a seu tamanho, esta zona pode passar despercebida, apesar de ser a mais contínua das zonas pegmatíticas. Ela é caracterizada pela transição entre as rochas encaixantes e os materiais pegmatíticos mais interiores, exibindo uma textura aplítica. Segundo Correia Neves (1984), os minerais presentes nesta zonas são quartzo, feldspatos e muscovita de grão fino e como acessórios granada, turmalinas (em geral schorl), berilo além de alguns minerais raros. Esta zona, às vezes, pode apresentar contato abrupto com as rochas encaixantes.

A zona mural, um pouco mais espessa que a de borda, pode atingir vários metros e sua presença já é mais variável, podendo ser contínua, ausente ou de desenvolvimento irregular. Quanto à mineralogia, é semelhante a da zona de borda, apenas com uma proporção mineralógica e textural diferentes, sendo a última característica mais grosseira. Os minerais essenciais são plagioclásio, microclínio, quartzo e muscovita, além de turmalina negra, biotita, berilo, granadas e apatita.

A zona intermediária, não necessariamente está presente em um pegmatito. No entanto, em pegmatitos complexos esta zona está presente, às vezes, até mais de uma vez. De acordo com Cameron *et al.* (1949), a espessura da zona intermediária, de até vários metros, é função dos tamanhos da zona de borda e do corpo pegmatítico. A textura fica mais grosseira à medida que se aproxima do núcleo. Nesta zona pode cristalizar uma grande variedade de minerais de interesse econômico, entre os quais podem ser citados quartzo, microclínio, espodumênio, ambligonita, muscovita, plagioclásio, turmalina, berilo, minerais fosfatados, etc. Próximo ao núcleo, pode-se encontrar concentrações de minerais raros.

Figura 10 - Bloco diagrama idealizado de um pegmatito zonado, destacando as quatro zonas em níveis diferentes de exposição (modificado de Cameron et al. 1949).

Finalmente, o núcleo, que é comumente quartzoso, posiciona-se na parte central do corpo pegmatítico. Sua espessura varia em função do tamanho e da forma do corpo. A textura também é variável, podendo ocorrer cristais gigantesco, como também bolsões com minerais, às vezes de qualidade gemológica. A mineralogia do núcleo inclui, além do quartzo, espodumênio, microclínio, turmalina, lepidolita, berilo e topázio, entre outros.

Como exemplo de pegmatito com estrutura interna variável e com fenômenos de substituições, podemos citar os pegmatitos graníticos, especialmente aqueles portadores de mineralizações economicamente importantes.

4.1.5 - FORMAÇÃO DE CORPOS DE SUBSTITUIÇÃO

De um modo geral, os corpos de substituição (caldeirões ou bolsões - *pockets*) são cavidades irregulares encontradas normalmente dentro do núcleo e/ou nas zonas intermediárias. Apesar de serem relativamente comuns em pegmatitos complexos, não são freqüentes. Jahns (1955), estima que as cavidades ocorram em menos que 1% de todos os pegmatitos conhecidos, embora no Brasil, especificamente em Minas Gerais, e em pegmatitos graníticos, tais cavidades sejam abundantes.

Os minerais mais comuns presentes nos caldeirões são o quartzo, albita, mica e turmalina negra e, raramente, ocorrem minerais com qualidade gemológica como alguns cristais de berilo, turmalina, espodumênio que, às vezes, apresentam-se em tamanhos gigantesco. O quartzo e a albita, são normalmente os maiores e os mais abundantes. O tamanho dos bolsões pode variar de alguns centímetros até vários metros, predominando os do primeiro tipo. No Pegmatito da Golconda I, em 1961, foi achado um caldeirão de 12m de comprimento por 4m de largura com 900kg de turmalina de cor verde-esmeralda, um dos maiores da região (Garibaldi 1994).

London (1986b), através de uma pesquisa em pegmatitos miarolíticos do Afeganistão, estudou inclusões fluidas em espodumênio, quartzo, turmalina e berilo, caracterizando a formação de caldeirões à temperaturas entre 425 e 475°C e pressões entre 2,4 a 2,8kbars. A formação de minerais em caldeirões indica o estágio final de cristalização do pegmatito.

4.1.6 - GÊNESE

Segundo Jahns (1955), há vários processos genéticos que podem explicar a origem dos pegmatitos, os quais podem ser condensados em três teorias distintas.

1) - teorias aquosas:

- a - secreção lateral;
- b - solução seletiva (“anatexia aquosa”);

2) - teorias ígneas:

- a - magma viscoso, segregado ou injetado;
- b - magma altamente fluido, segregado ou injetado;
- c - injeção de magma formado por anatexia ou palingênese;
- d - soluções aquosas derivadas de magmas;

3) - teorias metamórficas:

- a - recristalização;
- b - anatexia ou palingênese;
- c - substituição ou segregação dos fluidos não magmáticos;
- d - substituição ou segregação através de difusão de partículas, ou seja, diferenciação metamórfica.

As duas últimas teorias são mais plausíveis, enquanto a primeira, por falta de dados que a comprove, possui apenas interesse histórico.

A gênese dos pegmatitos pode ser tratada a partir de fusões silicatadas. O problema reside no fato de se saber de onde provêm estas fusões, ou seja, se originaram de fusões graníticas através de fracionamentos magmáticos ou por anatexia de rochas metamórficas de alto grau. Sem dúvida, os pegmatitos ligados à atividades plutônicas félsicas, normalmente associados aos grandes eventos termo-tectônicos que afetaram a crosta terrestre, são os de interesse econômico maior (Cerný 1982a).

A seguir, são discutidas algumas teorias tanto de filiação magmática como metamórfica para os pegmatitos. No primeiro caso, os pegmatitos ígneos estão relacionados com grandes volumes de material granítico, com baixo teor em sódio, sendo ricos em biotita e destituídos de hornblenda. Estes corpos estão posicionados em rochas formadas em níveis mais altos na crosta,

correspondentes às condições metamórficas de grau mais baixo que o anfibolito superior. Estão ligados a sistemas graníticos residuais, derivados pela diferenciação magmática.

Turner & Verhoogen (1978) subdividem os pegmatitos ácidos em dois tipos. O primeiro inclui os pegmatitos simples ou não diferenciados. Não possuem grande interesse econômico e sua mineralogia básica é representada por quartzo, feldspato alcalino, microclínio, $\pm$ micas (muscovita e/ou biotita) e por quantidades variáveis de plagioclásio sódico. O segundo tipo são os pegmatitos complexos, zonados ou diferenciados. Sua principal característica está na diversidade da composição mineralógica e textural. Esta heterogeneidade depende do volume do material pegmatítico e de sua evolução de cristalização no lugar do seu posicionamento final (Correia Neves 1984).

Tanto os corpos pegmatíticos como seus minerais, pertencem a um grupo independente de formações magmáticas tardias, sendo estas originadas em etapas finais da solidificação dos maciços intrusivos. A semelhança está no fator composicional, mas diferem por terem dimensões menores, formatos vesiculares ou filoniano, cristais de tamanho significativos, às vezes estrutura interna zonada, além de produtos de transformação metassomática das variações minerais primárias de origens magmáticas (Smirnov 1982).

Para os pegmatitos de filiação metamórfica, estes são caracterizados pelo seu posicionamento geológico correspondente às rochas de elevado grau metamórfico, ou seja, anfibolito superior à granulito. De um modo geral, pode ser zonado ou não, mas com uma mineralogia muito simples e, geralmente, não apresenta interesse econômico (Correia Neves 1981). No entanto, os pegmatitos metamórficos de origem residual são mais evoluídos mineralógica e geoquimicamente, tornando-os desta forma interessantes do ponto de vista econômico.

4.1.7 - DISTRIBUIÇÃO E IDADE

Independente dos tipos de granitos, há ocorrências de pegmatitos associados tanto nas séries graníticas tipo 1, também chamada a magnetita ou tipo 2, quanto nas séries graníticas tipo S, também chamadas a ilmenita ou tipo 1. A predominância dos corpos pegmatíticos está

relacionada com os plutões das séries do tipo S. As características diagnósticas dessas séries graníticas estão ilustradas nas Tabelas 11, 12 e 13.

Tabela 11 - Características identificadoras dos granitos tipo I e S. Nos granitos tipo S há a maior ocorrência de pegmatitos (modificado de Chappell & White 1974, in Biondi 1986).

<i>Granitos tipo I</i>	<i>Granitos tipo S</i>
O granito é o termo final de uma série "expandida", com plutões de composições variadas entre básicas a ácidas.	O granito ocorre em uma série "restrita", pouco diferenciada, com plutões em sua grande maioria de composições ácidas.
Contém mais sódio, geralmente mais que 3,2% nos tipos félsicos, decrescendo para valores de até 2,2% nas variedades mais máficas.	Contém menos sódio, normalmente mais que 3,2%, em rochas com cerca de 5% em K_2O , decrescendo para menos de 2,2% em rochas com cerca de 2% de K_2O .
Razão molar $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO) < 1,1$.	Razão molar $Al_2O_3/(Na_2O+K_2O+CaO) > 1,1$.
A composição normativa (CIPW) mostra diopsídio, ou menos de 1% de coríndon.	Composição normativa com mais de 1% de coríndon.
Razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr < 0,708$.	Razão inicial $^{87}Sr/^{86}Sr > 0,708$.
Presença comum de titanita e hornblenda.	Presença comum da muscovita, monazita, cordierita e granada.

Tabela 12 - Características identificadoras dos granitos a magnetita, ou tipo I e a ilmenita, ou tipo S (Ishihara 1981, in Biondi 1986).

<i>Granitos a magnetita, ou tipo I</i>	<i>Granitos a ilmenita, ou tipo I e S</i>
Mais de 0,1% (vol.) de magnetita.	Menos de 0,1% (vol.) de magnetita e ilmenita.
Susceptibilidade magnética $> 1 \times 10^{-4}$ emu/g.	Susceptibilidade magnética $< 1 \times 10^{-4}$ emu/g.
Rochas com razões $Fe_2O_3/FeO > 0,5$.	Rochas com razões $Fe_2O_3/FeO < 0,5$.
Valores do isótopo ^{34}S positivo.	Valores negativos do isótopo ^{34}S .
Baixos valores isotópicos de ^{18}O .	Valores altos do isótopo ^{18}O .
Os principais acessórios são a magnetita (0,1 a 2,0% vol.), ilmenita, hematita, pirita e calcopirita.	Os principais acessórios são ilmenita, pirrotita, grafita, monazita, granada e muscovita.
As razões $Fe/(Fe+Mg)$ dos anfibólios e da biotita das rochas da série decrescem com o aumento do teor em SiO_2 .	As razões $Fe/(Fe+Mg)$ dos anfibólios e da biotita das rochas da série crescem com o aumento do teor em SiO_2 .

Tabela 13 - Características identificadoras dos granitos tipo 1 (tipo S ou a ilmenita) e tipo 2 (tipo I ou a magnetita) (modificado de Wang et al. 1983 e 1984, in Biondi 1986).

Granitos do tipo 1 (tipo S ou a ilmenita)	Granitos do tipo 2 (tipo I ou a magnetita)
Baixas temperaturas de formação, entre 600 e 680°C.	Altas temperaturas de formação, de 980 a 1.1400°C, verificadas em inclusões.
Biotita com alto teor em ferro.	Biotita com alto teor em magnésio.
Paragéneses de acessórios complicadas, com magnetita + ilmenita + zircão ou monazita + xenotímio + zircão.	Os principais acessórios são magnetita, titanita, apatita, ilmenita e zircão rico em T.R.
Altos teores relativos de Fe, Li, Rb (Cs) e Be.	Altos teores relativos em Cl e Sr. O total de Ce é maior que o total de Y nas rochas e nos minerais acessórios.
Eu com nítido esgotamento.	Eu entre 0,74 e 0,99, sem esgotamento.
^{18}O maior que 10%.	^{18}O menor que 10%.
^{34}S muito variado.	^{34}S semelhantes ao dos meteoritos.
Baixo teor de platinóides típicos de uma derivação do manto.	Alto teor de platinóides característicos do manto (mais de 10 vezes).
Razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,7112 e 0,7360.	Razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ entre 0,7036 e 0,7085.
	Diques básicos intermediários são os termos finais da série.

Os pegmatitos são, predominantemente, depósitos continentais, cujo ambiente de formação, geralmente envolvem processos de granitogênese, ou seja, ocorre uma anatexia da crosta sílica (Figura 11). Segundo Jahns (1955), os pegmatitos ocorrem, essencialmente, em terrenos ígneos e metamórficos, sendo mais abundantes nas cadeias de montanhas continentais mais jovens e nas áreas de escudos.

Quanto à idade dos corpos pegmatíticos, estas podem ser determinadas através de datações radiométricas em fases constituintes apropriadas, ou pelas relações com rochas de posição conhecida na coluna geológica. Como estes corpos estão amplamente distribuídos pelo planeta, eles apresentam uma variação de idade absoluta muito grande, abrangendo todos os ciclos tectonomagmáticos da história geológica (Landes 1935a e b, Jahns 1955). Os corpos pegmatíticos mais abundantes e difundidos dentre todos os expostos, apresentam idade Pré-Cambriana.

Figura 11 - Desenho ilustrativo da origem das diversas séries graníticas com seus ambientes tectônicos, classificadas conforme suas origens. A região com pontuação mais densa representa material acrescional infraplaca. A variação na densidade de pontos indica mudanças na composição da crosta (Pitcher 1983, in Biondi 1986).

No Brasil, encontra-se uma das maiores ocorrências de rochas pegmatíticas de todo o mundo. Um dos primeiros trabalhos regionais sobre esses pegmatitos é devido a Paiva (1946), que os agrupou em três províncias distintas: oriental, nordestina e meridional (Figura 12). Todas essas províncias começaram a se formar no início do Proterozóico, durante a consolidação da Plataforma Sul-americana, tendo uma idade que varia entre 700Ma e 500Ma (Correia Neves 1981).

Figura 12 - Localização das três províncias pegmatíticas brasileiras (simplificado de Paiva 1946).

4.2 - A PROVÍNCIA PEGMATÍTICA ORIENTAL DO BRASIL

Inúmeros corpos pegmatíticos ocorrem ao longo da Faixa Araçuaí e do Cinturão Atlântico, podendo ser do tipo magmático ou anatótico. O tipo magmático engloba os corpos pegmatíticos cristalizados a partir de resíduos magmáticos de granitos intrusivos Brasileiros. Os anatóticos, de um modo geral, apresentam uma mineralogia mais simples, dimensões menores em relação aos primeiros, correspondendo a mobilizados félsicos gerados por fusão parcial das rochas regionais. No segundo caso, a presença dos minerais euxenita e samarskita corrobora com a gênese. Esses dois tipos de pegmatitos ocorrem distribuídos por toda a Província Pegmatítica Oriental (Figura 13). Na grande maioria, as idades desses corpos estão compreendidas num intervalo entre 580 a 460Ma (Correia Neves *et al.* 1986, Pedrosa Soares *et al.* 1990a, Marciano *et al.* 1993, Marciano 1995).

Datações obtidas a partir de amostras de muscovita (Pegmatito do Ferreirinha) e microclínio (Pegmatito do Olho-de-Gato) pelo método Rb/Sr forneceram idades 497 ± 13 m.a. e 501 ± 14 m.a., respectivamente. Estes pegmatitos foram formados durante o Ciclo Brasileiro (450 a 650 m.a.) como todos os demais pegmatitos brasileiros, com uma única exceção constituída por aqueles da região de São João Del'Rei que são de uma orogenia anterior (Marciano 1985).

A Província Pegmatítica Oriental Brasileira está dividida em vários Distritos Pegmatíticos, que por sua vez estão subdivididos em vários Campos Pegmatíticos (Branco 1984a). No Estado de Minas Gerais estão presentes cinco distritos: Araçuaí, Governador Valadares, Santa Maria de Itabira, Caparaó e Juiz de Fora. A Tabela 14 mostra resumidamente apenas o distrito que abrange a área em estudo, de acordo com Pedrosa Soares *et al.* (1994a). De acordo com o trabalho de Netto *et al.* (1999), existem sete distritos: Araçuaí, Padre Paraíso, Ataléia, São José da Safira, Conselheiro Pena, Caratinga e Santa Maria de Itabira. De acordo com esses autores a área em estudo está inserida no Distrito de São José da Safira, no Campo da Golconda.

Um dos distritos pegmatíticos mais ricos do país é o de Araçuaí-Salinas, inserido na Província Pegmatítica Oriental, no Estado de Minas Gerais. Na região de Virgem da Lapa, pertencente a este distrito, os pegmatitos são ricos do ponto de vista geoquímico sendo caracterizados pela presença dos elementos F, P, Ca, Na, K, Fe, Sn, Nb, Ta, Pb, Sb, As, Bi, S, Be, Al, B, Li, além de U e Cu. Este distrito é pobre em Li, enquanto o de Araçuaí-Itinga é mais rico (Garibaldi 1994, 1995). O Distrito Pegmatítico Teófilo Otoni - Marambaia é, talvez,

geoquimicamente o mais distinto de toda a Província Pegmatítica Oriental, sendo caracterizado pela ausência de xistos. Este distrito destaca-se pela grande ocorrência de berilo, crisoberilo e alexandrita. Uma curiosidade é que em um mesmo pegmatito pode ocorrer topázio e água-marinha, mas nunca essas duas fases ocorrem no mesmo corpo de substituição (Garibaldi 1994).

Tabela 14 - Características geológicas do Distrito Pegmatítico de Governador Valadares (simplificado de Pedrosa Soares *et al.* 1994a).

Distrito Pegmatítico	Campo Pegmatítico	Classe, tipo metalogenético dominante	Encaixantes metamórficas principais	granito associado
Governador Valadares	Marilac	muscovita ?, turmalínífero	gnaisses, migmatitos, xistos	ausentes - ?
	Galiléia / Conselheiro Pena	elementos-raros / muscovita, berilo- turmalínífero	xistos do Formação São Tomé, quartzitos, metamorfismo cianita-sillimanita	granitos brasileiros do tipo Urucum

Granitóides tardi- a pós-tectônicos estão presentes na Faixa Móvel Araçuai. Estes podem ser dos tipos biotita e muscovita granitos, com fácies granodioríticas localizadas e granitos pegmatóides. Estes últimos são fácies de cúpula, representando a cristalização dos líquidos magmáticos residuais (Pedrosa Soares *et al.* 1994a). Estas variedades de granitóides constituem corpos alcalinos, potássicos de assinatura geoquímica e isotópica crustal, originados por fusão parcial de crosta continental.

Granitóides sintectônicos e complexos granitóides polidiapíricos ocorrem no Cinturão Atlântico. De acordo com Pedrosa Soares *et al.* (1994a), estes granitóides estão representados por extensos maciços heterogêneos do ponto de vista petrográfico, sendo compostos por granada granitóides, granitóides porfiríticos com fenocristais de feldspato potássico, granitóides com cordierita e/ou sillimanita e granitóides ricos em encraves microgranulares meso a melanocráticos, cortados por fases pegmatíticas a aplíticas tardias. De um modo geral, englobam porções gnáissicas ou migmatíticas e restos de metassedimentos, estando limitados por terrenos gnáissicos de médio a alto grau, não mostrando uma relação intrusiva nítida. Assim sendo, esses corpos, na grande maioria, podem ser considerados como anatexitos semi-autóctones, derivados dos complexos gnáissicos que a eles se associam. A idade radiométrica obtida principalmente pelos métodos Rb/Sr e K/Ar, tanto para esses granitóides como para os tardi- a pós-tectônicos, indicam um intervalo entre 700 a 500Ma. (Campos Neto *et al.* 1990, Fuck *et al.* 1993). Inúmeros pegmatitos estão relacionados a estes granitóides. No Distrito Pegmatítico de Governador

Figura 13 - Localização e limites da Província Pegmatítica Oriental, segundo Paiva (1946), Putzer (1976) e Schobbenhaus et al. (1981, 1984).

Valadares, na região de Galiléia - Conselheiro Pena, ocorrem granitos tipo Urucum, que constituem intrusões nos xistos da Formação São Tomé (Grupo Rio Doce), portadores de fácies pegmatóides de cúpula. Próximo a Governador Valadares ocorre o corpo granitóide Ibituruna, pós-tectônico, leucocrático, sacaroidal e de composição alcalina, apresentando termos sieníticos associados e brechas no contato com os gnaisses encaixantes (Grossi Sad comunicação escrita, in Pedrosa Soares *et al.* 1994a).

4.3 - PEGMATITOS DO CAMPO DE MARILAC

O conjunto de corpos pegmatíticos estudados nesta Tese, fazem parte do Campo Pegmatítico de Marilac estando inseridos numa área de 5 por 16km, de direção SW-NE, situada a noroeste da cidade de Governador Valadares, Estado de Minas Gerais (Figura 14, Tabela 15). Quanto à estrutura, estes pegmatitos variam desde zonados simples até complexos, sendo que suas dimensões médias estão entre 10 e 20m de espessura. Esta dimensão situa-se entre média a grande de acordo com a classificação de Cameron *et al.* (1949). A Figura 15 mostra a estrutura complexa do Pegmatito Olho-de-Gato, que de um modo geral representa os demais corpos deste tipo na área em estudo. Os corpos, encaixados concordantemente em sua maioria em xistos da Formação São Tomé do Grupo Rio Doce, apresentam predominantemente formas lenticulares, seguidas das tabulares (Fotografia 3). Estes corpos pegmatíticos são berilo-ferrocolumbita-tantalíferos, e ricos em muscovita. É possível notar pela mineralogia dos pegmatitos que existe uma complexidade crescente, espécimes tanto essenciais como acessórios cada vez mais ricos em Ta, Nb e elementos alcalinos raros, de sudoeste para nordeste da área em estudo, sendo provavelmente a área do "Sem Terra", onde há vários corpos em início de abertura (Fotografia 4) a mais evoluída geoquimicamente. Dentre os minerais mais comuns pode-se citar feldspato potássico, quartzo (hialino, fumê, róseo, leitoso e amarelado), muscovita, albita, biotita, granada, berilo (industrial, água-marinha, morganita e goshenita), nióbio-tantalatos e turmalinas (pretas, verdes, azuis e róseas).

Figura 14 - Localização dos diversos corpos pegmatíticos pertencentes ao Campo de Marilac. (modificado de Ribeiro 1997).

Figura 15 - Planta esquemática da galeria do Pegmatito Olho-de-Gato, com zoneamento complexo representativo dos demais corpos deste tipo no Campo de Marilac (adaptado de Santos 1985).

Tabela 15 - Características gerais dos pegmatitos do Campo de Marilac.

Nº	Nome do pegmatito	Coordenadas E	UTM N	Dimensão e Morfologia	Rocha encaixante	Mineralogia principal	Mineralogia acessória
1	Arizio	802187	7922665	muito grande tabular	xisto São Tomé	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim granada
2	Ladinho I	802112	7923158	lenticular médio	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim
3	Ladinho II	801838	7923759	tabular grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	caulim
4	Pedra Redonda	805308	7923831	lenticular muito grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, biotita, berilo
5	Cab Cór Ferreirinha	805492	7924260	lenticular pequeno	biotita-quartzo xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	berilo, biotita, nióbio- tantalatos, turmalina
6	Ipê	805100	7925040	tabular muito grande	quartzo-micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	caulim, albita, apatita, autunita, berilo, nióbio- tantalatos, granada, turmalina
7	Ferreirinha II	805017	7926220	tabular grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	caulim, albita, apatita, autunita, berilo, nióbio- tantalatos, granada
8	Ferreirinha III	804946	7926368	tabular grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, berilo, nióbio- tantalatos
9	São Domingos	807492	794825	início de abertura	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	berilo, turmalina, granada
10	Crioulo	807619	7925016	tabular grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, berilo, granada, caulim, nióbio-tantalatos
11	Ferreirinha I	806370	7926371	tabular grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	caulim, albita, apatita, autunita, berilo, nióbio- tantalatos, granada, turmalina

continua

continuação

Nº	Nome do pegmatito	Coordenadas E	UTM N	Dimensão e Morfologia	Rocha encaixante	Mineralogia principal	Mineralogia acessória
12	Olho-de-Gato	806967	7926571	tabular muito grande	quartzo-micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	caulim, albita, apatita, autunita, bavenita, berilo, bertrandita, nióbio-tantalatos, granada, herderita, turmalina
13	Boi	807667	7926512	tabular grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	caulim, albita, apatita, berilo, nióbio-tantalatos, granada, turmalina
14	Jonas Lima II (Faria II) (Giovani)	807440	7926624	tabular grande	biotita-quartzo xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim, albita, apatita, autunita, berilo, nióbio-tantalatos, granada, turmalina
15	Jonas Lima I (Faria I)	807356	7926757	tabular muito grande	quartzo-micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim, albita, autunita, berilo, nióbio-tantalatos, granada, herderita, turmalina
16	Golconda II (Machadão)	807417	7927126	tabular/ramificado grande	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim, albita, apatita, autunita, berilo, bertrandita, nióbio-tantalatos, granada, turmalina
17	Jacó	806123	7928467	tabular grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, berilo, caulim, apatita, nióbio-tantalatos, turmalina
18	Japonês	808416	7926918	tabular grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim, albita, berilo, nióbio-tantalatos, turmalina
19	Pelé	809660	7927194	tabular grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim, albita, berilo, nióbio-tantalatos, granada, turmalina
20	Grande	810281	7927231	tabular/ramificado grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	albita, autunita, berilo, nióbio-tantalatos, turmalina
21	Faz. Japonesa (Sr. Paulo)	810838	7927157	tabular médio	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim, berilo, nióbio-tantalatos

continua

continuação

Nº	Nome do pegmatito	Coordenadas E	UTM N	Dimensão e Morfologia	Rocha encaixante	Mineralogia principal	Mineralogia acessória
22	Cór. Areião	809933	7928290	tabular médio	quartzo-biotita xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	berilo, nióbio-tantalatos, turmalina
23	Golconda III (Edson)	809397	7929079	corpo retrabalhado muito grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	berilo, mica lilás, turmalina, nióbio-tantalatos
24	Golconda I (Ailton)	808896	7929895	tabular/ramificado muito grande	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	albita, apatita, autunita, berilo, bertrandita, nióbio- tantalatos, granada, lepidolita, turmalina
25	Escondido	809365	7929905	? muito grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	berilo, caulim, cleavelandita, mica lilás, autunita, apatita, nióbio-tantalatos, turmalina
26	Faz Pedra Azul II	810641	7928589	tabular/lenticular médio	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, berilo, nióbio- tantalatos, turmalina
27	Cór da Onça	810913	7928490	tabular médio	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	caulim, berilo, nióbio- tantalatos
28	Areião I	809117	7930560	tabular médio/grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, amblygonita, berilo, nióbio-tantalatos, granada, lepidolita, turmalina
29	Urbano	810503	7930133	tabular grande	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, berilo, granada
30	José Pedra I	811491	7929154	tabular médio	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, berilo, nióbio- tantalatos, turmalina
31	José Pedra III	811993	7929078	tabular/lenticular médio	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, berilo, nióbio- tantalatos, turmalina
32	Faz Pedra Azul I	811771	7929848	tabular médio	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, berilo, turmalina
33	José Pedra II	812548	7929538	tabular grande	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim, albita, berilo, nióbio- tantalatos, turmalina
34	Pedra Louça	812429	7929685	tabular pequeno	micaxisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	berilo, nióbio-tantalatos, turmalina

continua

continuação

Nº	Nome do pegmatito	Coordenadas E	UTM N	Dimensão e Morfologia	Rocha encaixante	Mineralogia principal	Mineralogia acessória
35	Zado Imóveis	811379	7933222	tabular médio	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim, albita, berilo, nióbio-tantalatos, turmalina
36	Toninho (Sem Terra)	812063	7932667	início de abertura	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	mica lilás, turmalina, nióbio-tantalatos
37	Odilon II (Eucalipto)	812051	7932830	tabular/ramificado grande	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	caulim, berilo, nióbio-tantalatos
38	Monte Claro	813434	7931710	tabular grande	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita, biotita	albita, berilo, nióbio-tantalatos
39	Ferrinho	811937	7933270	início de abertura	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	granada
40	Alberto (Sem Terra)	812413	7933016	início de abertura	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, mica lilás, berilo, nióbio-tantalatos
41	Rames (Sem Terra)	812349	7933143	início de abertura	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, granada, turmalina, caulim, biotita, nióbio-tantalatos
42	José Pereira (Sem Terra)	812317	7933270	início de abertura	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	mica esverdeada, albita, berilo, turmalina, granada, nióbio-tantalatos
43	Marcial (Faz. Odilon)	812286	7933460	início de abertura	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	albita, berilo, granada
44	Doca e Helder (Faz. Odilon)	812508	7933270	início de abertura	gnaisse/xisto	feldspato potássico quartzo, muscovita	berilo, caulim, nióbio-tantalatos

Fotografia 3 - Vista panorâmica do Pegmatito do Ipê. Destaca-se a forma tabular do corpo, encaixado concordantemente com o biotita xisto da Formação São Tomé. A altura deste corpo, na parte aflorante, é da ordem de 25m, com comprimento que excede a 200m.

Fotografia 4 - Vista panorâmica da área do "Sem Terra". Os diversos 'serviços' estão no início de abertura e ao que tudo indica, parece tratar-se de um único pegmatito. A presença de tantalita, sugere que esse corpo deve ser um dos mais diferenciados da área estudada.

5 - FELDSPATOS

Os feldspatos constituem o mais importante grupo de minerais formadores de rochas, sendo encontrados em diversas condições geológicas. Segundo o arranjo estrutural dos tetraedros $[\text{SiO}_4]^{4-}$, são minerais que pertencem à subclasse tectossilicatos (Figura 16). Sua estrutura cristalina é constituída por um arcabouço de aluminossilicatos cujos interstícios são ocupados por átomos alcalinos (Na, K, Rb, Cs) ou alcalino terrosos (Ca, Ba, Sr). Sua fórmula geral pode ser representada da seguinte maneira $(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})(\text{Al}, \text{Si})_4\text{O}_8$, ou seja, a maioria dos feldspatos pode ser expressa em termos do sistema ternário KAlSi_3O_8 (Or - ortoclásio) $\leftrightarrow$ $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ (Ab - albita) $\leftrightarrow$ $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ (An - anortita). Os feldspatos alcalinos reúnem os membros da série entre KAlSi_3O_8 e $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, sendo os plagioclásios os membros compreendidos entre os extremos da série $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ e $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$.

Este grupo mineral é de grande importância, tanto do ponto de vista geoquímico como econômico. Os feldspatos, por ocorrerem em todas as zonas dos corpos pegmatíticos, são capazes, juntamente com as micas, de fornecerem informações sobre variações químicas e físicas durante o processo de cristalização, ou seja, a evolução do magma do início da formação da zona marginal até a cristalização final.

Como diversas Dissertações e Teses sobre pegmatitos e granitos já apresentaram uma síntese sobre feldspatos (Lopes Nunes 1973, Correia Neves 1981, Marciano 1985, Pedrosa Soares 1984, Monteiro 1979, Monteiro 1981, entre outros), neste trabalho não serão apresentados dados de cunho teórico.

Durante várias décadas o estudo geoquímico dos pegmatitos era baseado exclusivamente em dados químicos e estruturais de feldspatos e das micas. Atualmente, os minerais desses grupos são ainda utilizados, mas os do grupo do berilo e dos nióbio-tantalatos fornecem dados mais eficientes para a avaliação da gênese e importância econômica, que são um dos objetivos desta Tese. Barth (1969), Smith (1974a e b), Ribbe (1975), Martin (1982) entre outros, apresentam sínteses e atualização sobre o assunto.

Figura 16 - Estrutura dos feldspatos. Em I) polimerização da "cadeia" de tetraedros dos feldspatos, neste caso representa uma sanidina; II) união das "cadeias" dos tetraedros em um feldspato, III) perspectiva da estrutura de uma sanidina (Lima-de-Faria 1994), IV) ilustrações idealizadas das 'cadeias' nos feldspatos (Deer et al. 1992) e em V) em d) anel da cadeia dos feldspatos segundo Hatch et al. (1974) e e) projeção da estrutura sobre (010) (Ribbe 1975).

5.1 - FELDSPATOS DO CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC

Os feldspatos potássicos dos pegmatitos do Campo de Marilac apresentam coloração branca, bege, raramente rosada ou esverdeada, sendo que as duas últimas ocorrem na lavra do Escondido e Olho-de-Gato, respectivamente. Os cristais de albita são brancos ou incolores e em tons azulado nas lavras do Ipê e Escondido. Os cristais de microclínio apresentam dimensões variadas, podendo alcançar, em alguns casos, aproximadamente, 4m de seção em corte na parede do pegmatito do Ipê (Fotografias 5 e 6). A Tabela 16 trás um ficha resumo dos cristais de feldspatos selecionados para o estudo desta Tese. Algumas amostras exibem vazios nos locais antes ocupados pelas lamelas pertíticas, devido a processo de alteração.

A Tabela 17 apresenta os dados químicos, obtidos por fluorescência de raios X (CPMTC/UFMG), dos elementos maiores e alguns menores para 69 amostras desta Tese, e ainda as porcentagens das moléculas Or, Ab e An, além de outras 121 amostras de feldspatos de outros pesquisadores, todas pertencentes a 21 pegmatitos, zonados simples ou complexos, do Campo de Marilac. As 121 amostras de feldspatos potássicos destes pegmatitos são microclínio macropertitizado ($\text{Or}_{97,07-77,57}\text{Ab}_{22,12-2,88}\text{An}_{0,82-0,05}$) e os sódicos, 69 amostras de albita ($\text{Ab}_{98,97-77,04}\text{Or}_{17,84-0,74}\text{An}_{9,82-0,33}$), muitas vezes cleavelandita (Gandini *et al.* 1998c, Gandini *et al.* 1999, no prelo). Também estão lançados nesta tabela as análises dos feldspatos dos granitos analisados por microsonda eletrônica. O conteúdo de MnO, nos feldspatos, por apresentar teor muito baixo ($<0,01$), estando quase a totalidade das amostras analisadas no limite de sensibilidade do método empregado, fluorescência de raios X, não foi possível a observação de seu comportamento em relação à estrutura dos corpos pegmatíticos. Para as amostras 5439F (Ipê), 2319D (Olho-de-Gato) e 5564 (Golconda I) foram encontrados valores de 0,02, 0,04 e 0,02, respectivamente, para o referido elemento. O diagrama ternário (Figura 17) exhibe os campos dos três membros externos da série do grupo dos feldspatos bem como aqueles relativos às fases de composição intermediária. O diagrama triangular (Figura 18) apresenta as curvas de temperatura segundo Deer *et al.* (1992) além dos dados dos feldspatos analisados para este trabalho. Poucas amostras de albita caem no campo do intervalo de temperaturas entre 650 a 750°C, sendo que os demais feldspatos se cristalizam em temperaturas abaixo de 650°C. Pode-se observar no referido diagrama que a composição das albitas é praticamente pura, e que os feldspatos potássicos agrupam-se no campo dos valores até 77% em Or, com teor praticamente nulo em Ca.

Fotografia 5 - Interior do Pegmatito do Ipê onde pode-se observar no canto direito da fotografia, uma coluna de um único cristal de feldspato pertencente à zona intermediária. Neste pegmatito ocorrem cristais métricos.

Fotografia 6 - Corte de um cristal de feldspato em uma das colunas de sustentação do Pegmatito do Ipê, cujo diâmetro é de 4m aproximadamente.

Tabela 16 - Descrição das amostras de feldspatos pertencentes a vários pegmatitos do Campo de Marilac. Nem todas as amostras foram possíveis de serem localizadas no corpo, pois algumas foram coletadas no rejeito.

AM:	Lavra	LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRA	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA
5695	Ladinho	?	albita acinzentada associada a muscovita e a quartzo fumê
5725	I	corpo de substituição	albita acinzentada associada a muscovita e a quartzo fumê
5527	Ipê	corpo de substituição	albita sacaroidal a maciça recoberta por hidróxido de ferro
5528		corpo de substituição	feldspato branco associado a mica clara e quartzo leitoso
5533		corpo de substituição na zona intermediária	albita associada a feldspato potássico e muscovita
5537		corpo de substituição na zona gráfica	albita azulada intercrescida com muscovita e feldspato potássico
5668	Ferreirinha II	corpo de substituição	albita associada a mica clara (22x17x4cm) e quartzo
5670		zona gráfica grosseira	feldspato potássico branco pertitizado
5671		corpo de substituição	albita corroendo zona gráfica associada a granada e muscovita
5581	São Domin.	zona gráfica grosseira	feldspato potássico pertitizado associado a biotita, muscovita e óxido de manganês
5582		zona gráfica	feldspato potássico pertitizado associado a muscovita, quartzo e óxido de manganês
5579	Crioulo	zona gráfica	intercrescimento gráfica de feldspato potássico com quartzo incolor, biotita e hidróxido de ferro
5579K		zona gráfica	intercrescimento gráfica de feldspato potássico com quartzo incolor, granada e hidróxido de ferro
5611	Jonas Lima II	corpo de substituição	cleavelandita associada com quartzo
5612		corpo de substituição na zona gráfica	feldspato branco pertitizado intercrescido com quartzo, muscovita (esverdeada nas bordas) e óxido de ferro
5613		corpo de substituição na zona gráfica	feldspato branco pertitizado associado a quartzo incolor, granada de manganês (halo negro), óxido de manganês e fosfato de urânio
5614		zona intermediária	feldspato creme pertitizado com dendritos de manganês
5615		corpo de substituição	cleavelandita associada a cristais de micas milimétricas de cor esverdeada
5700	Jonas Lima I (Farias I)	corpo de substituição	cleavelandita associada a turmalina preta e quartzo
5711		?	feldspato potássico branco, alterado, com nódulos de manganês
5714		corpo de substituição	cleavelandita associada a muscovita
5715		?	feldspato potássico rosado associado a quartzo, muscovita e granada
5716		zona gráfica média	intercrescimento gráfico de feldspato potássico branco e quartzo
5719A		corpo de substituição	albita associada a quartzo e a finos cristais de muscovita
5719K		?	feldspato potássico esverdeado pertitizado
5722A		corpo de substituição	feldspato potássico branco associado a turmalina negra
5722K		corpo de substituição	feldspato potássico branco associado a turmalina negra
5723		zona gráfica fina	intercrescimento gráfico de feldspato potássico bege pertitizado e quartzo associado com mica escura

continua

continuação

AM:	Lavra	LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRA	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA
5562	G o l c o n d a	corpo de substituição na zona gráfica	feldspato branco intercrescido com quartzo, mica clara alterada
5564		corpo de substituição na zona gráfica	feldspato associado a quartzo incolor, granada e biotita
5565		corpo de substituição na zona gráfica grosseira	feldspato associado a quartzo incolor, granada, biotita e muscovita (epitaxia)
5566		corpo de substituição	albita associada a biotita e apatita rósea
5570		zona gráfica grosseira	cristais subédricos de feldspato potássico com núcleo de gráfico fino associado a muscovita
5571		zona gráfica	feldspato potássico intercrescido com quartzo incolor, muscovita e biotita
5572		zona gráfica grosseira	feldspato potássico pertitzado com mica clara
5713		corpo de substituição	albita com dendritos de manganês
5724		corpo de substituição	albita associada a mica fina e turmalina verde
5674	E s c o n d i d o	corpo de substituição	cleavelandita associada a turmalina verde e preta e pequenos cristais euédricos de granadas
5676		corpo de substituição	albita associada a feldspato potássico, berilo azulado e muscovita
5677A		corpo de substituição	albita associada com quartzo e muscovita
5677K		zona gráfica	feldspato potássico branco apresentando lamelas de pertita corroidas
5679		corpo de substituição	feldspato potássico branco de 23 x 12 x 12cm, associado a albita e turmalina verde
5680		corpo de substituição	albita associada a quartzo, muscovita e turmalina preta
5682A		corpo de substituição	albita associada a feldspato potássico branco pertitzado
5682K		corpo de substituição	feldspato potássico branco pertitzado associado a albita
5689		corpo de substituição	albita associada a cristais de turmalinas verdes dispostas radialmente
5690K		corpo de substituição	feldspato potássico bege claro recoberto por finos cristais de mica rosada
5690A		corpo de substituição	cleavelandita associada a cristais finos de mica rosada e quartzo
5691		corpo de substituição	feldspato potássico branco apresentando lamelas corroidas associado a cristais de turmalina e cristais finos de mica branco-acinzentada
5693		zona gráfica média	intercrescimento gráfico de feldspato potássico branco com quartzo

continua

continuação

AM:	Lavra	LOCALIZAÇÃO DA AMOSTRA	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA
5663-3	Urba- no	zona gráfica	intercrescimento de feldspato potássico branco associada a biotita alterada
5663-5		zona gráfica	intercrescimento de feldspato potássico branco associada a berilo prismático
5654	Toninho	zona gráfica	feldspato potássico branco pertitizado associado a cristais de mica claro
5638	Al ber to	corpo de substituição	albita associada com muscovita, quartzo e dendritos de manganês
5639		zona gráfica grosseira	feldspato potássico branco pertitizado
5640		zona gráfica média	feldspato potássico bege claro pertitizado exibindo corrosão da albita, associado a muscovita
5641		zona gráfica média	albita associada a quartzo e berilo leitoso
5642	Rames	zona gráfica média	intercrescimento gráfico de feldspato branco e quartzo associado a cristais de ± 1 cm de muscovita e granada
5643		zona gráfica grosseira	feldspato bege claro pertitizado exibindo corrosão devido a dissolução da albita
5644		zona gráfica	intercrescimento gráfico de feldspato bege com quartzo
5645	José Perei ra	zona gráfica	feldspato potássico róseo recoberto com mica fina verde
5647		zona gráfica	intercrescimento gráfica de feldspato potássico branco com quartzo, associado a com muscovita
5651		zona gráfica média	intercrescimento gráfica de feldspato potássico branco com quartzo
5633	Mar- cial	corpo de substituição	albita associada com feldspato potássico bege pertitizado, com pequenos cristais de muscovita, cristais alterados de granada e dendritos de manganês
5634		zona gráfica grosseira	intercrescimento grosseiro de feldspato potássico bege claro pertitizado e quartzo contendo pequenos cristais de muscovita e granada
5636		zona gráfica grosseira	feldspato potássico róseo pertitizado associado a quartzo com dendritos de manganês
5637		zona gráfica grosseira	feldspato potássico róseo pertitizado apresentando cavidades devido a alteração das pertitas, associado a quartzo com dendritos de manganês

Tabela 17 - Análises químicas de 190 amostras de feldspatos pertencentes a pegmatitos do Campo de Marilac, realizadas por meio de fluorescência de raios X e 26 análises de feldspatos de granitos próximos a área de estudo. Na tabela os óxidos estão em %, elementos traço em ppm, além das moléculas albita, anortita e ortoclásio e as razões classificatórias de pegmatitos segundo Cerný (1991a). Espaço em branco = não foram analisados.

amostra pegmatito mineral	3.6 A C.Onça W fel	3.7K C.Onça W fel	3.9A C.Onça W fel	4.101K C.Alto W fel	4.102K C.Alto W fel	4.103K C.Alto W fel	4.104K C.Alto W fel	4.105K C.Alto W fel	4.106A C.Alto W fel	4.107K C.Alto W fel	4.108A C.Alto W fel	4.14A C.Alto W fel	4.15K C.Alto W fel	4.16K C.Alto W fel	4.17K C.Alto W fel	4.18K C.Alto W fel	4.19K C.Alto W fel
SiO ₂	68,30	65,21	68,68	64,82	65,23	64,64	65,26	64,96	67,71	65,66	67,38	67,52	65,42	65,51	65,13	65,25	64,58
TiO ₂																	
Al ₂ O ₃	19,44	19,00	19,37	19,27	19,20	19,07	19,10	19,17	19,97	19,10	19,82	19,84	19,20	19,21	19,27	19,18	19,61
Fe ₂ O _{3t}																	
FeOt																	
FeO																	
MnO																	
MgO																	
CaO	0,25	0,05	0,26	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	0,76	0,04	0,80	0,85	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04
Na ₂ O	11,92	2,68	12,08	1,97	2,10	1,93	2,31	1,65	11,30	3,18	11,40	11,46	2,24	3,00	1,79	2,11	3,32
K ₂ O	0,22	13,06	0,17	13,77	13,94	13,91	13,41	14,36	0,22	12,33	0,32	0,31	13,66	12,56	13,98	14,12	11,83
P ₂ O ₅	0,12	0,11	0,13	0,05	0,09	0,13	0,09	0,12	0,10	0,08	0,12	0,13	0,11	0,13	0,04	0,11	0,73
PF																	
Total	100,25	100,11	100,69	99,93	100,61	99,73	100,22	100,30	100,06	100,39	99,84	100,11	100,67	100,45	100,27	100,81	100,11
Ba	91	106	36	735	87	147	127	132	64	85	63	85	73	116	828	132	139
Cs	40	52	0	37	43	38	43	37	35	60	34	38	45	42	41	44	42
Ga																	
Hf																	
Nb																	
Pb	28	228	0	404	232	260	278	270	74	302	76	104	228	264	346	230	500
Rb	13	857	7	446	591	833	630	753	11	986	11	15	884	880	489	813	904
Sr	27	28	23	60	27	32	23	25	31	26	36	41	31	40	60	27	48
Y																	
Zr																	
Li	0	9	16	22	11	17	14	23	9	12	5	8	19	19	24	16	13
Ab	97,7	23,7	97,9	17,8	18,6	17,4	20,7	14,8	95,2	28,1	94,6	94,4	19,9	26,6	16,2	18,5	29,8
An	1,1	0,2	1,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	3,6	0,2	3,7	3,9	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2
Or	1,2	76,0	0,9	81,9	81,2	82,4	79,1	85,0	1,2	71,7	1,8	1,7	79,9	73,2	83,5	81,3	70,0
K/Rb	140,49	126,51	201,61	256,30	195,81	138,62	176,70	158,31	166,03	103,81	241,50	171,56	128,28	118,49	237,33	144,18	108,64
K/Cs	45,66	2084,95		3089,50	2691,23	3038,79	2588,91	3221,88	52,18	1705,96	78,13	67,72	2519,97	2482,54	2830,61	2664,03	2338,26
Rb/Cs	0,33	16,48		12,05	13,74	21,92	14,65	20,35	0,31	16,43	0,32	0,39	19,64	20,95	11,93	18,48	21,52
Al/Ga																	
Ba/Sr	3,37	3,79	1,57	12,25	3,22	4,59	5,52	5,28	2,06	3,27	1,75	2,07	2,35	2,90	13,80	4,89	2,90
Ba/Rb	7,00	0,12	5,14	1,65	0,15	0,18	0,20	0,18	5,82	0,09	5,73	5,67	0,08	0,13	1,69	0,16	0,15
Rb/Sr	0,48	30,61	0,30	7,43	21,89	26,03	27,39	30,12	0,35	37,92	0,31	0,37	28,52	22,00	8,15	30,11	18,83
K/Ba	20,07	1022,81	39,20	155,53	1330,15	785,54	876,56	903,10	28,54	1204,21	42,17	30,28	1553,40	898,85	140,16	888,01	706,52

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	4.20K C.Alto W fel	4.21K C.Alto W fel	4.22K C.Alto W fel	4.23K C.Alto W fel	4.2K C.Alto W fel	4.5K C.Alto W fel	4.9K C.Alto W fel	5698 Arizão fel	5695 Ladinho I fel	13-118K Ipê W fel	13.1 K Ipê W fel	13.10 A Ipê W fel	13.101K Ipê W fel	13.102K Ipê W fel	13.103K Ipê W fel	13.104A Ipê W fel	13.105K Ipê W fel
SiO ₂	65,32	65,65	65,02	65,65	65,25	65,13	65,54	54,50	67,30	65,12	65,38	65,81	65,48	64,92	65,48	68,32	65,33
TiO ₂								0,02	0,01								
Al ₂ O ₃	19,29	19,29	19,14	19,27	19,32	19,10	19,29	25,30	19,70	19,11	19,06	20,84	19,17	19,15	19,03	19,47	19,08
Fe ₂ O _{3t}								0,08	0,07								
FeOt								0,00	0,00								
FeO								0,01	0,01								
MnO								0,00	0,00								
MgO								0,38	0,01								
CaO	0,05	0,06	0,07	0,07	0,04	0,06	0,04	0,02	0,14	0,05	0,05	2,14	0,05	0,05	0,04	0,43	0,06
Na ₂ O	2,14	2,66	2,02	3,04	2,22	2,14	2,54	0,29	11,14	1,67	3,35	10,13	2,81	1,65	3,32	11,67	2,84
K ₂ O	13,68	13,08	13,99	12,31	13,88	13,51	13,02	0,06	0,66	14,34	12,05	0,68	12,88	14,33	12,08	0,12	12,74
P ₂ O ₅	0,05	0,06	0,09	0,08	0,12	0,10	0,13	0,03	0,08	0,11	0,10	0,05	0,11	0,13	0,07	0,07	0,13
PF								18,10	0,22								
Total	100,53	100,80	100,32	100,42	100,83	100,04	100,56	98,78	99,33	100,40	99,99	99,65	100,50	100,23	100,02	100,08	100,18
Ba	1017	277	126	128	120	44	171	26	31	137	79	72	153	96	42	92	104
Cs	40	38	51	40	42	61	48	5	5	44	39	29	14	41	56	49	47
Ga								24	24								
Hf								5	5								
Nb								8	6								
Pb	460	360	290	252	216	286	246	19	37	374	198	148	272	0	236	38	264
Rb	556	505	638	565	843	672	845	5	58	719	618	19	697	751	1445	8	762
Sr	64	59	30	37	41	26	42	7	23	39	35	103	25	26	22	34	26
Y								5	5								
Zr								14	15								
Li	25	11	13	11	14	12	20			10	11	20	13	23	11		11
Ab	19,2	23,5	17,9	27,2	19,5	19,3	22,8	85,3	95,6	15,0	29,6	86,1	24,8	14,9	29,4	97,3	25,2
An	0,3	0,3	0,4	0,4	0,2	0,3	0,2	2,9	0,7	0,3	0,3	10,1	0,3	0,3	0,2	2,0	0,3
Or	80,6	76,2	81,7	72,5	80,3	80,3	77,0	11,8	3,7	84,7	70,1	3,8	74,9	84,9	70,4	0,7	74,5
K/Rb	204,25	215,02	182,03	180,87	136,68	166,89	127,91	99,62	94,47	165,57	161,87	297,11	153,41	158,40	69,40	124,52	138,79
K/Cs	2839,11	2857,46	2277,22	2554,79	2743,45	1838,58	2251,78	99,62	1095,80	2705,53	2564,95	194,66	7637,38	2901,48	1790,75	20,33	2250,24
Rb/Cs	13,90	13,29	12,51	14,13	20,07	11,02	17,60	1,00	11,60	16,34	15,85	0,66	49,79	18,32	25,80	0,16	16,21
Al/Ga								5578,97	4344,10								
Ba/Sr	15,89	4,69	4,20	3,46	2,93	1,69	4,07	3,71	1,35	3,51	2,26	0,70	6,12	3,69	1,91	2,71	4,00
Ba/Rb	1,83	0,55	0,20	0,23	0,14	0,07	0,20	5,20	0,53	0,19	0,13	3,79	0,22	0,13	0,03	11,50	0,14
Rb/Sr	8,69	8,56	21,27	15,27	20,56	25,85	20,12	0,71	2,52	18,44	17,66	0,18	27,88	28,88	65,68	0,24	29,31
K/Ba	111,67	392,00	921,73	798,37	960,21	2548,94	632,08	19,16	176,74	868,93	1266,24	78,40	698,85	1239,17	2387,67	10,83	1016,93

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	13.106K Ipê W fel	13.108K Ipê W fel	13.109K Ipê W fel	13.11 K Ipê W fel	13.110A Ipê W fel	13.112K Ipê W fel	13.114A Ipê W fel	13.117A Ipê W fel	13.12 K Ipê W fel	13.13 K Ipê W fel	13.14 K Ipê W fel	13.18 K Ipê W fel	13.19 K Ipê W fel	13.20 K Ipê W fel	13.21 K Ipê W fel	13.3 K Ipê W fel	13.4 K Ipê W fel
SiO ₂	65,27	64,90	65,68	65,28	67,85	65,30	67,41	67,20	65,22	65,11	64,93	64,95	65,27	65,51	65,13	65,46	65,39
TiO ₂																	
Al ₂ O ₃	19,17	18,98	19,11	19,01	19,55	19,06	19,64	19,32	19,11	19,17	19,23	19,07	19,13	19,16	19,01	19,23	19,16
Fe ₂ O _{3t}																	
FeOt																	
FeO																	
MnO																	
MgO																	
CaO	0,06	0,09	0,04	0,05	0,59	0,07	0,72	0,50	0,07	0,07	0,05	0,06	0,05	0,07	0,06	0,07	0,07
Na ₂ O	2,46	2,52	3,23	2,70	11,64	2,93	11,35	11,77	2,57	2,56	1,63	2,25	2,52	3,17	2,27	2,14	2,55
K ₂ O	13,03	13,03	12,25	13,00	0,17	12,49	0,16	0,12	13,12	13,01	14,20	13,36	13,11	12,29	13,46	13,74	13,02
P ₂ O ₅	0,11	0,11	0,13	0,12	0,11	0,08	0,11	0,08	0,07	0,10	0,12	0,10	0,08	0,11	0,07	0,11	0,10
PF																	
Total	100,10	99,63	100,44	100,16	99,91	99,93	99,40	98,99	100,16	100,02	100,16	99,79	100,16	100,31	100,00	100,75	100,29
Ba	122	77	109	117	64	91	66	138	759	147	72	107	123	98	348	134	122
Cs	47	46	44	41	33	39	35	35	38	43	45	36	40	42	38	39	40
Ga																	
Hf																	
Nb																	
Pb	278	270	234	298	64	330	0	0	342	256	252	296	352	258	460	242	298
Rb	785	832	913	757	11	518	8	12	348	706	741	631	580	670	460	769	582
Sr	27	34	25	26	28	32	32	59	89	30	28	40	33	30	66	29	41
Y																	
Zr																	
Li	10	14	28	9	21	9	8	0	12	6	9	9	15	13	15	12	9
Ab	22,2	22,6	28,5	23,9	96,4	26,2	95,8	97,1	22,9	22,9	14,8	20,3	22,5	28,1	20,3	19,1	22,8
An	0,3	0,5	0,2	0,3	2,7	0,4	3,4	2,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,4	0,4
Or	77,5	76,9	71,2	75,8	0,9	73,5	0,9	0,6	76,8	76,7	84,9	79,4	77,2	71,6	79,4	80,6	76,8
K/Rb	137,79	130,01	111,38	142,56	128,30	200,17	166,03	83,02	312,98	152,98	159,08	175,77	187,64	152,28	242,91	148,33	185,71
K/Cs	2301,46	2351,49	2311,21	2632,18	42,77	2658,61	37,95	28,46	2866,20	2511,69	2619,58	3080,78	2720,82	2429,18	2940,48	2924,68	2702,14
Rb/Cs	16,70	18,09	20,75	18,46	0,33	13,28	0,23	0,34	9,16	16,42	16,47	17,53	14,50	15,95	12,11	19,72	14,55
Al/Ga																	
Ba/Sr	4,52	2,26	4,36	4,50	2,29	2,84	2,06	2,34	8,53	4,90	2,57	2,68	3,73	3,27	5,27	4,62	2,98
Ba/Rb	0,16	0,09	0,12	0,15	5,82	0,18	8,25	11,50	2,18	0,21	0,10	0,17	0,21	0,15	0,76	0,17	0,21
Rb/Sr	29,07	24,47	36,52	29,12	0,39	16,19	0,25	0,20	3,91	23,53	26,46	15,78	17,58	22,33	6,97	26,52	14,20
K/Ba	886,63	1404,79	932,97	922,39	22,05	1139,40	20,12	7,22	143,50	734,71	1637,24	1036,52	884,82	1041,08	321,09	851,21	885,95

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	13.5 K Ipê W fel	13.7 K Ipê W fel	13.9 A Ipê W fel	5445F Ipê A fel	5456F Ipê A fel	5488F Ipê A fel	5449 Ipê fel	5450 Ipê fel	5453 Ipê fel	5456F Ipê fel	5460 Ipê fel	5472 Ipê fel	5481 Ipê fel	5488F Ipê fel	5527 Ipê fel	5528 Ipê fel	5533 Ipê fel
SiO ₂	65,32	65,40	65,49	66,80	67,20	67,50	66,90	66,10	64,00	65,50	65,00	65,60	64,20	65,90	66,30	65,80	65,30
TiO ₂				0,03	0,05	0,05	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04
Al ₂ O ₃	19,69	19,04	20,81	19,70	20,00	19,70	20,10	20,30	18,80	20,70	20,90	20,60	18,70	20,50	20,40	20,70	20,60
Fe ₂ O ₃ t				0,01	0,10	0,10	0,02	0,02	0,01	0,04	0,03	0,02	0,01	0,02	0,11	0,09	0,02
FeOt																	
FeO				0,04	0,10	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04
MnO				0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO				0,15	0,10	0,10	0,03	0,01	0,02	0,06	0,02	0,01	0,02	0,02	0,06	0,05	0,04
CaO	0,05	0,08	2,09	0,43	1,10	0,71	0,42	0,54	0,06	1,25	1,29	0,71	0,09	0,80	0,47	0,60	0,94
Na ₂ O	2,72	2,95	10,32	11,98	10,60	11,10	11,62	11,48	2,20	10,88	10,61	11,37	2,46	11,46	11,72	11,57	11,79
K ₂ O	12,46	12,35	0,52	0,13	0,69	0,35	0,14	0,41	13,60	0,74	0,67	0,38	13,42	0,41	0,19	0,28	0,35
P ₂ O ₅	0,15	0,08	0,06	0,06	0,06	0,08	0,06	0,09	0,05	0,1	0,09	0,11	0,07	0,11	0,07	0,1	0,13
PF				0,23	0,23	0,27	0,26	0,35	0,19	0,28	0,63	0,61	0,12	0,29	0,29	0,36	0,11
Total	100,39	99,90	99,29	99,53	100,14	99,97	99,60	99,34	98,97	99,60	99,28	99,45	99,13	99,56	99,66	99,60	99,33
Ba	132	127	72	18	10	10	11	23	298	17	17	25	575	22	10	21	11
Cs	42	38	31	15	5	7	10	10	811	18	15	10	10	17	10	16	10
Ga				22	0	0	20	20	16	24	25	25	18	24	23	26	24
Hf				5	8	8	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Nb				7	5	5	10	9	6	8	5	7	6	6	9	10	8
Pb	180	322	78	12	93	77	73	56	268	100	65	63	255	78	20	107	90
Rb	924	541	15	10	39	18	10	11	1166	34	14	17	402	15	19	30	14
Sr	43	36	86	12	26	16	14	10	67	28	12	22	106	21	17	25	19
Y				10	3	3	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Zr				12	10	5	14	13	11	15	11	13	17	14	19	13	13
Li	11	9	14														
Ab	24,9	26,5	87,3	97,4	90,9	94,7	97,3	95,3	19,7	90,2	90,2	94,7	21,7	94,1	96,8	95,7	94,0
An	0,3	0,4	9,8	1,9	5,2	3,4	1,9	2,5	0,3	5,7	6,1	3,3	0,4	3,6	2,1	2,7	4,1
Or	74,9	73,1	2,9	0,7	3,9	2,0	0,8	2,2	80,0	4,0	3,8	2,1	77,9	2,2	1,0	1,5	1,8
K/Rb	111,94	189,51	287,79	107,92	146,87	161,42	116,22	309,42	96,83	180,68	397,29	185,56	277,13	226,91	83,02	77,48	207,54
K/Cs	2462,78	2697,99	139,25	71,95	1145,61	415,08	116,22	340,36	139,21	341,28	370,80	315,46	11140,61	200,21	157,73	145,28	290,55
Rb/Cs	22,00	14,24	0,48	0,67	7,80	2,57	1,00	1,10	1,44	1,89	0,93	1,70	40,20	0,88	1,90	1,88	1,40
Al/Ga				4739,01			5318,76	5371,68	6218,45	4564,61	4424,36	4360,86	5498,11	4520,51	4694,04	4213,49	4542,56
Ba/Sr	3,07	3,53	0,84	1,50	0,38	0,63	0,79	2,30	4,45	0,61	1,42	1,14	5,42	1,05	0,59	0,84	0,58
Ba/Rb	0,14	0,23	4,80	1,80	0,26	0,56	1,10	2,09	0,26	0,50	1,21	1,47	1,43	1,47	0,53	0,70	0,79
Rb/Sr	21,49	15,03	0,17	0,83	1,50	1,13	0,71	1,10	17,40	1,21	1,17	0,77	3,79	0,71	1,12	1,20	0,74
K/Ba	783,61	807,27	59,96	59,96	572,80	290,55	105,66	147,98	378,86	361,36	327,18	126,18	193,75	154,71	157,73	110,69	264,14

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	5537 Ipê fel	5668 Ferr. II fel	5670 Ferr. II fel	5671 Ferr. II fel	5581 S. Domin fel	5582 S. Domin fel	5579 Crioulo fel	5579K Crioulo fel	2265A Ferril M fel	2266A Ferril M fel	2268 Ferril M fel	2270A Ferril M fel	2276 Ferril M fel	2277A Ferril M fel	2287 Ferril M fel	2289 Ferril M fel	2292 Ferril M fel
SiO ₂	65,70	67,60	66,00	67,40	64,40	64,70	64,10	64,70	62,40	68,00	65,70	65,70	65,50	66,30	64,80	65,80	66,50
TiO ₂	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Al ₂ O ₃	20,50	19,40	18,40	19,30	19,20	19,20	19,10	19,20	26,70	21,50	18,90	19,20	18,40	18,90	18,50	18,90	19,50
Fe ₂ O _{3t}	0,05	0,07	0,04	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,27	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
FeOt																	
FeO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
MnO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	0,24	0,01	0,01	0,01	0,03	0,07	0,04	0,18	0,03	0,01	0,01	0,07	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CaO	0,82	0,12	0,02	0,68	0,09	0,09	0,14	0,14	0,98	1,30	0,02	0,11	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02
Na ₂ O	11,67	11,65	3,09	10,80	2,68	2,45	3,26	3,04	4,30	7,70	3,10	2,70	2,90	3,00	3,00	2,90	2,80
K ₂ O	0,27	0,16	11,51	0,53	12,59	12,58	12,25	11,85	0,73	7,72	12,00	11,70	13,10	11,70	13,10	11,80	10,60
P ₂ O ₅	0,13	0,22	0,14	0,13	0,11	0,11	0,11	0,1	0,05	0,05	0,14	0,1	0,11	0,12	0,12	0,11	0,1
PF	0,24	0,10	0,05	0,33	0,35	0,34	0,34	0,33	4,39	0,41	0,00	0,21	0,02	0,00	0,27	0,17	0,21
Total	99,67	99,34	99,28	99,23	99,51	99,60	99,39	99,59	99,87	106,81	99,99	99,91	100,19	100,20	99,94	99,83	99,86
Ba	17	22	25	12	45	61	81	26	39	20	31	500	20	54	20	20	20
Cs	14	14	171	16	25	16	15	3840									
Ga	26	36	18	28	19	19	20	21									
Hf	5	5	5	5	5	5	5	5									
Nb	8	8	7	7	5	5	5	9									
Pb	61	36	119	53	167	175	174	10									
Rb	14	55	786	21	669	654	654	46	56	38	1500	1030	1500	1050	1420	1400	1370
Sr	18	14	13	12	32	34	37	10	29	38	52	35	10	14	27	10	10
Y	10	5	5	5	10	10	10	10									
Zr	14	14	11	13	11	12	10	10									
Li																	
Ab	94,9	98,5	28,9	93,7	24,3	22,7	28,6	27,9	80,8	57,0	28,2	25,8	25,1	28,0	25,8	27,2	28,6
An	3,7	0,6	0,1	3,3	0,5	0,5	0,7	0,7	10,2	5,3	0,1	0,6	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1
Or	1,4	0,9	70,9	3,0	75,2	76,8	70,7	71,4	9,0	37,6	71,7	73,6	74,7	71,8	74,1	72,7	71,3
K/Rb	160,10	24,15	121,57	209,51	156,23	159,68	155,49	2138,54	108,22	1686,52	66,41	94,30	72,50	92,50	76,58	69,97	64,23
K/Cs	160,10	94,87	558,77	274,99	4180,64	6527,05	6779,56	25,62									
Rb/Cs	1,00	3,93	4,60	1,31	26,76	40,88	43,60	0,01									
Al/Ga	4172,78	2851,96	5409,91	3647,91	5348,01	5348,01	5054,15	4838,67									
Ba/Sr	0,94	1,57	1,92	1,00	1,41	1,79	2,19	2,60	1,34	0,53	0,60	14,29	2,00	3,86	0,74	2,00	2,00
Ba/Rb	1,21	0,40	0,03	0,57	0,07	0,09	0,12	0,57	0,70	0,53	0,02	0,49	0,01	0,05	0,01	0,01	0,01
Rb/Sr	0,78	3,93	60,46	1,75	20,91	19,24	17,68	4,60	1,93	1,00	28,85	29,43	150,00	75,00	52,59	140,00	137,00
K/Ba	131,85	60,37	3822,01	366,65	2322,58	1712,01	1255,47	3783,57	155,39	3204,38	3213,48	194,26	5437,48	1798,66	5437,48	4897,89	4399,80

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	2293 Ferri M fel	2294A Ferri M fel	2299 Ferri M fel	2301 Ferri M fel	2309 Ferri M fel	2310 Ferri M fel	2311A Ferri M fel	2312A Ferri M fel	2513 Ferri M fel	2664A Ferri M fel	2315 OGatoM fel	2319A OGatoM fel	2319D OGatoM fel	2327 OGatoM fel	2328 OGatoM fel	2329A OGatoM fel	2330A OGatoM fel
SiO ₂	66,20	65,60	65,60	65,80	65,80	64,70	65,70	66,00	65,70	69,10	66,90	68,20	66,60	63,80	65,20	66,80	66,30
TiO ₂	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	18,60	18,60	18,50	18,80	18,90	18,70	18,90	18,90	18,60	20,80	18,20	18,30	18,40	18,10	18,30	19,50	19,60
Fe ₂ O _{3t}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
FeOt																	
FeO	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
MnO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CaO	0,04	0,04	0,02	0,01	0,01	0,06	0,02	0,03	0,02	0,10	0,03	0,03	1,40	0,02	0,01	0,31	0,96
Na ₂ O	3,70	2,30	2,70	2,50	2,10	2,50	1,90	2,30	1,60	8,80	1,90	11,80	10,90	3,10	2,20	11,90	12,00
K ₂ O	10,80	12,90	12,90	12,20	13,00	13,60	12,10	12,80	13,80	0,43	11,80	0,23	0,16	14,60	12,90	0,38	0,53
P ₂ O ₅	0,08	0,07	0,13	0,13	0,13	0,1	0,12	0,09	0,14	0,05							
PF	0,34	0,24	0,18	0,28	0,10	0,00	0,06	0,06	0,02	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total	99,89	99,88	100,16	99,85	100,17	99,79	98,93	100,31	100,01	99,70	98,94	98,67	97,61	99,73	98,72	99,00	99,50
Ba	20	270	20	20	20	20	20	44	20	20	5	5	5	5	5	5	5
Cs														140	140	22	10
Ga																	
Hf																	
Nb																	
Pb																	
Rb	1230	760	1010	1100	1260	1010	1200	1270	1330	73	1730	42	45	1100	1230	35	24
Sr	10	40	20	15	15	22	19	20	10	44	5	5	8	5	5	5	5
Y																	
Zr																	
Li																	
Ab	34,2	21,3	24,1	23,7	19,7	21,8	19,3	21,4	15,0	96,3	19,6	98,6	92,5	24,4	20,6	96,6	93,2
An	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,1	0,2	0,1	0,6	0,2	0,1	6,6	0,1	0,1	1,4	4,1
Or	65,6	78,5	75,8	76,2	80,3	77,9	80,6	78,4	84,9	3,1	80,2	1,3	0,9	75,5	79,4	2,0	2,7
K/Rb	72,89	140,91	106,03	92,07	85,65	111,78	83,71	83,67	86,14	48,90	56,62	45,46	29,52	110,18	87,06	90,13	183,32
K/Cs														865,73	764,92	143,39	439,98
Rb/Cs														7,86	8,79	1,59	2,40
Al/Ga																	
Ba/Sr	2,00	6,75	1,00	1,33	1,33	0,91	1,05	2,20	2,00	0,45	1,00	1,00	0,63	1,00	1,00	1,00	1,00
Ba/Rb	0,02	0,36	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,27		0,12	0,11			0,14	0,21
Rb/Sr	123,00	19,00	50,50	73,33	84,00	45,91	63,16	63,50	133,00	1,66	346,00	8,40	5,63	220,00	246,00	7,00	4,80
K/Ba	4482,81	396,63	5354,47	5063,92	5395,98	5645,02	5022,41	2414,98	5728,04	178,48	19591,54	381,87	265,65	24240,38	21417,87	630,91	879,96

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	2331A OGatoM fel	2336 OGatoM fel	2338A OGatoM fel	2339A OGatoM fel	2344 OGatoM fel	2346A OGatoM fel	2347A OGatoM fel	2348A OGatoM fel	2349A OGatoM fel	2354A OGatoM fel	2355A OGatoM fel	2356 OGatoM fel	2360A OGatoM fel	2361A OGatoM fel	2362A OGatoM fel	2367 OGatoM fel	2529A OGatoM fel
SiO ₂	65,90	66,80	66,50	66,70	66,70	66,60	67,70	66,80	67,30	66,30	65,00	64,80	66,70	66,90	70,30	64,20	64,10
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00												
Al ₂ O ₃	19,20	18,40	18,40	19,50	18,30	18,10	19,00	18,20	18,90	18,80	18,70	18,60	19,10	18,10	17,30	17,90	18,60
Fe ₂ O _{3t}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
FeOt																	0,05
FeO	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,00
MnO	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	0,01
MgO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
CaO	0,57	0,03	0,03	1,30	0,02	0,03	0,22	0,02	0,65	0,21	0,22	0,01	0,89	0,01	0,16	0,02	0,01
Na ₂ O	13,00	3,30	2,60	11,00	3,20	3,10	13,80	2,30	11,80	4,70	6,10	2,70	11,80	2,30	11,00	2,10	2,30
K ₂ O	0,21	10,50	11,20	0,40	10,60	10,90	0,22	11,40	0,25	8,90	9,80	12,80	0,41	11,60	0,17	15,00	14,30
P ₂ O ₅																	
PF	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
Total	98,99	99,14	98,84	99,01	98,93	98,84	101,07	98,83	99,01	99,02	99,93	99,02	99,01	99,02	99,05	99,33	99,47
Ba	5	5	5	5	5	5	5	7	5	5	5	5	5	8	5	38	11
Cs	14									190	290	290				170	250
Ga																	
Hf																	
Nb																	
Pb																	
Rb	30	970	1150	27	1160	1170	31	1240	35	850	1160	1600	35	1660	23	1220	2000
Sr	5	5	5	5	5	10	5	9	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Y																	
Zr																	
Li																	
Ab	96,6	32,3	26,0	91,8	31,4	30,1	98,1	23,4	95,7	44,0	48,1	24,3	93,9	23,1	98,2	17,5	12,6
An	2,3	0,2	0,2	6,0	0,1	0,2	0,9	0,1	2,9	1,1	1,0	0,1	3,9	0,1	0,8	0,1	0,0
Or	1,0	67,6	73,8	2,2	68,5	69,7	1,0	76,4	1,3	54,9	50,9	75,7	2,1	76,8	1,0	82,4	87,4
K/Rb	58,11	89,86	80,85	122,99	75,86	77,34	58,91	76,32	59,30	86,92	70,13	66,41	97,25	58,01	61,36	102,07	
K/Cs	124,52									388,86	280,53	366,41				732,49	
Rb/Cs	2,14									4,47	4,00	5,52				7,18	
Al/Ga																	
Ba/Sr	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	1,00	0,78	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,60	1,00	7,60	2,20
Ba/Rb	0,17	0,01		0,19			0,16	0,01	0,14	0,01	0,00	0,00	0,14	0,00	0,22	0,03	0,01
Rb/Sr	6,00	194,00	230,00	5,40	232,00	117,00	6,20	137,78	7,00	170,00	232,00	320,00	7,00	332,00	4,60	244,00	400,00
K/Ba	348,66	17433,15	18595,36	664,12	17599,18	18097,27	365,27	13519,59	415,08	14776,67	16270,94	21251,84	680,72	12037,18	282,25	3276,91	10791,95

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	2529B OGatoM fel	2530 OGatoM fel	2535 OGatoM fel	2537A OGatoM fel	2538 OGatoM fel	2539 OGatoM fel	2541A OGatoM fel	2543A OGatoM fel	2545A OGatoM fel	31.12A OGatoW fel	31.13A OGatoW fel	31.14K OGatoW fel	31.15K OGatoW fel	31.16A OGatoW fel	31.17K OGatoW fel	31.18A OGatoW fel	31.1K OGatoW fel
SiO ₂	64,10	66,90	64,60	64,80	66,70	64,70	66,90	66,80	66,60	68,87	68,97	65,52	65,74	68,81	65,49	68,19	64,80
TiO ₂																	
Al ₂ O ₃	18,60	18,20	18,10	18,20	18,20	18,70	18,40	18,30	18,40	19,21	19,06	19,12	19,15	19,10	19,16	19,28	19,30
Fe ₂ O _{3t}	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeOt																	
FeO	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05								
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00								
MgO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01								
CaO	0,12	0,01	0,01	0,03	0,03	1,10	0,03	0,03	0,03	0,08	0,09	0,03	0,03	0,13	0,04	0,22	0,05
Na ₂ O	10,80	2,70	2,40	2,30	3,40	3,90	3,10	3,10	3,30	12,02	12,24	2,27	2,87	11,87	2,69	11,76	1,78
K ₂ O	0,55	10,90	14,00	13,90	10,50	11,00	10,40	10,60	10,60	0,16	0,17	13,53	12,87	0,22	12,69	0,21	14,19
P ₂ O ₅										0,15	0,15	0,15	0,16	0,11	0,15	0,17	0,27
PF																	
Total	94,28	98,82	99,22	99,34	98,94	99,51	98,94	98,94	99,04	100,49	100,68	100,62	100,82	100,24	100,22	99,83	100,39
Ba	5	5	9	8	5	5	5	5	5	42	42	158	88	14	63	92	119
Cs	17		340	320						31	31	59	71	32	74	31	86
Ga																	
Hf																	
Nb																	
Pb										58	72	164	144	0	152	48	106
Rb	79	1650	2150	2020	900	1800	1080	1580	1170	8	17	1155	1309	20	1209	10	2772
Sr	5	5	5	5	5	5	5	5	5	16	93	29	21	16	30	25	29
Y																	
Zr																	
Li										6	3	15	11	4	18	0	30
Ab	96,2	27,3	20,7	20,1	32,9	33,2	31,1	30,7	32,1	98,8	98,7	20,3	25,3	98,2	24,3	97,8	16,0
An	0,6	0,1	0,0	0,1	0,2	5,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	0,2	0,6	0,2	1,0	0,3
Or	3,2	72,6	79,3	79,8	66,9	61,6	68,7	69,1	67,8	0,9	0,9	79,6	74,6	1,2	75,5	1,2	83,8
K/Rb	57,80	54,84	54,06	57,12	96,85	50,73	79,94	55,69	75,21	166,03	83,02	97,25	81,62	91,32	87,13	174,33	42,50
K/Cs	268,58		341,83	360,60						42,85	45,52	1903,72	1504,79	57,07	1423,60	56,24	1369,75
Rb/Cs	4,65		6,32	6,31						0,26	0,55	19,58	18,44	0,63	16,34	0,32	32,23
Al/Ga																	
Ba/Sr	1,00	1,00	1,80	1,60	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	2,63	0,45	5,45	4,19	0,88	2,10	3,68	4,10
Ba/Rb	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	5,25	2,47	0,14	0,07	0,70	0,05	9,20	0,04
Rb/Sr	15,80	330,00	430,00	404,00	180,00	360,00	216,00	316,00	234,00	0,50	0,18	39,83	62,33	1,25	40,30	0,40	95,59
K/Ba	913,17	18097,27	12913,44	14423,86	17433,15	18263,30	17267,12	17599,18	17599,18	31,62	33,60	710,88	1214,09	130,45	1672,16	18,95	989,90

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	31.2K OGatoW fel	31.3K OGatoW fel	31.4K OGatoW fel	31.6K OGatoW fel	31.7A OGatoW fel	31.9A OGatoW fel	2072A Boi M fel	2077A Boi M fel	5611 J. Lima II fel	5612 J. Lima II fel	5613 J. Lima II fel	5614 J. Lima II fel	5615 J. Lima II fel	149D J.Lima I M fel	272A J.Lima I M fel	275A J.Lima I M fel	5700 J.Lima I fel
SiO ₂	65,66	65,51	65,79	65,33	68,64	68,80	63,50	64,80	67,50	67,00	64,70	64,60	66,00	67,90	64,30	64,90	68,00
TiO ₂									0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01
Al ₂ O ₃	19,23	19,18	19,24	19,18	19,08	19,19	18,10	18,30	19,60	19,80	20,50	19,10	19,70	19,40	18,40	18,10	19,10
Fe ₂ O _{3t}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,10	0,02	0,04	0,03	0,02	0,01	0,10	0,10	0,10	0,04
FeOt																	
FeO							0,05	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05	0,05	0,01
MnO							0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO							0,01	0,01	0,08	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CaO	0,03	0,04	0,05	0,03	0,15	0,07	0,02	0,01	0,22	0,28	1,12	0,07	0,25	0,05	0,01	0,01	0,20
Na ₂ O	2,97	2,67	3,39	2,24	12,09	12,25	3,10	2,10	11,64	11,69	11,62	2,40	12,34	11,80	2,20	1,80	11,40
K ₂ O	12,41	12,86	12,07	13,60	0,14	0,14	14,40	13,90	0,23	0,56	0,56	12,81	0,27	0,13	13,90	13,80	0,23
P ₂ O ₅	0,17	0,18	0,13	0,19	0,15	0,12			0,15	0,18	0,1	0,12	0,15	0	0	0	0,16
PF									0,19	0,13	0,17	0,10	0,16	0,00	0,00	0,00	0,13
Total	100,47	100,44	100,67	100,57	100,25	100,57	99,23	99,22	99,67	99,75	98,86	99,27	98,94	99,39	98,92	98,72	99,28
Ba	114	96	115	128	70	37	65	39	17	18	10	32	14	5	5	47	11
Cs	78	76	55	77	36	31	22	14	13	10	19	74	21	10	170	83	5
Ga									31	27	25	19	34				24
Hf									5	5	5	5	5				5
Nb									8	7	12	5	7				8
Pb									21	28	63	142	25				19
Pb	132	142	154	122	50	62											
Rb	1155	1378	723	1479	14	15	790	790	15	72	21	918	17	27	2300	1240	5
Sr	22	37	32	19	33	16	28	7	10	19	17	22	10	5	5	5	7
Y									10	10	10	10	10				5
Zr									14	11	15	10	14				26
Li	34	31	31	23	29	9											
Ab	26,6	23,9	29,8	20,0	98,6	98,9	24,6	18,7	97,7	95,7	92,2	22,1	97,5	99,1	19,4	16,5	97,7
An	0,2	0,2	0,3	0,2	0,7	0,3	0,1	0,0	1,0	1,3	4,9	0,4	1,1	0,2	0,0	0,1	1,0
Or	73,2	75,9	69,9	79,9	0,7	0,7	75,3	81,3	1,3	3,0	2,9	77,6	1,4	0,7	80,6	83,4	1,3
K/Rb	89,20	77,47	138,59	76,34	83,02	77,48	151,32	146,06	127,29	64,57	221,37	115,84	131,85	39,97	50,17	92,39	381,87
K/Cs	1320,79	1404,70	1821,80	1466,24	32,28	37,49	5433,71	8242,20	146,87	464,88	244,68	1437,06	106,73	107,92	678,77	1380,25	381,87
Rb/Cs	14,81	18,13	13,15	19,21	0,39	0,48	35,91	56,43	1,15	7,20	1,11	12,41	0,81	2,70	13,53	14,94	1,00
Al/Ga									3346,10	3881,02	4339,69	5320,15	3066,42	0,00	0,00	0,00	4211,79
Ba/Sr	5,18	2,59	3,59	6,74	2,12	2,31	2,32	5,57	1,70	0,95	0,59	1,45	1,40	1,00	1,00	9,40	1,57
Ba/Rb	0,10	0,07	0,16	0,09	5,00	2,47	0,08	0,05	1,13	0,25	0,48	0,03	0,82	0,19		0,04	2,20
Rb/Sr	52,50	37,24	22,59	77,84	0,42	0,94	28,21	112,86	1,50	3,79	1,24	41,73	1,70	5,40	460,00	248,00	0,71
K/Ba	903,70	1112,06	871,30	882,03	16,60	31,41	1839,10	2958,74	112,31	258,27	464,88	3323,19	160,10	215,84	23078,17	2437,46	173,58

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	5711 J.Lima I fel	5714 J.Lima I fel	5562 Gole. I fel	5564 Gole. I fel	5565 Gole. I fel	5566 Gole. I fel	5570 Gole. I fel	5571 Gole. I fel	5572 Gole. I fel	5713 Gole. I fel	5674 Escond. fel	5676 Escond. fel	5677A Escond. fel	5677K Escond. fel	5679 Escond. fel	5680 Escond. fel	5682A Escond. fel
SiO ₂	64,40	66,90	65,00	66,40	65,10	0,00	65,10	64,40	64,70	67,00	67,60	66,80	67,30	65,90	64,70	67,60	67,20
TiO ₂	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,00	0,03	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Al ₂ O ₃	18,20	19,90	20,80	20,00	20,40	0,00	19,00	18,70	18,70	19,60	19,10	18,90	19,50	17,40	18,00	19,40	19,50
Fe ₂ O _{3t}	0,04	0,01	0,07	0,07	0,05	0,00	0,02	0,02	0,02	0,05	0,04	0,04	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05
FeOt																	
FeO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
MnO	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,01	0,02	0,08	0,03	0,02	0,00	0,05	0,01	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CaO	0,01	0,25	1,34	1,05	1,05	0,00	0,07	0,08	0,09	1,21	0,12	0,97	0,06	0,01	0,04	0,06	0,05
Na ₂ O	2,86	11,72	11,34	10,90	11,79	0,00	2,61	2,57	2,74	10,21	11,54	10,45	11,91	1,13	1,10	11,85	12,01
K ₂ O	11,95	0,28	0,61	0,34	0,35	0,00	12,57	13,02	12,41	1,12	0,08	1,22	0,15	14,81	15,29	0,11	0,08
P ₂ O ₅	0,11	0,17	0,09	0,11	0,11	0	0,09	0,08	0,08	0,1	0,15	0,71	0,15	0,04	0,09	0,15	0,11
PF	1,89	0,12	0,23	0,24	0,18	0,00	0,09	0,41	0,77	0,29	0,75	0,31	0,24	0,04	0,21	0,13	0,39
Total	99,49	99,41	99,60	99,19	99,10	0,00	99,64	99,33	99,58	99,60	99,40	99,42	99,39	99,39	99,50	99,36	99,41
Ba	87	21	20	20	12	18	37	126	96	17	27	38	20	337	210	27	10
Cs	121	24	10	10	10	10	45	12	32	39	5	148	80	601	532	140	13
Ga	21	34	24	25	24	25	20	20	17	22	27	20	29	14	16	26	22
Hf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Nb	5	10	8	24	8	7	5	5	5	7	7	9	5	5	5	10	12
Pb	153	19	89	68	75	27	182	202	205	96	30	13	59	5	13	12	31
Rb	1004	16	22	15	14	60	683	494	512	53	14	373	203	3764	3824	444	40
Sr	21	10	23	12	14	10	28	60	54	23	13	26	21	72	52	22	14
Y	5	10	10	10	10	10	10	10	10	10	5	5	5	5	5	5	5
Zr	10	12	12	12	11	14	10	12	12	11	12	14	12	13	11	15	16
Li																	
Ab	26,7	97,3	90,9	93,1	93,6	0,0	23,9	23,0	25,0	87,9	99,0	88,6	98,9	10,4	9,8	99,1	99,3
An	0,1	1,1	5,9	5,0	4,6	0,0	0,4	0,4	0,5	5,7	0,6	4,5	0,3	0,1	0,2	0,3	0,2
Or	73,3	1,5	3,2	1,9	1,8	0,0	75,7	76,6	74,5	6,3	0,4	6,8	0,8	89,6	90,0	0,6	0,4
K/Rb	98,81	145,28	230,18	188,17	207,54	0,00	152,78	218,80	201,21	175,43	47,44	27,15	6,13	32,66	33,19	2,06	16,60
K/Cs	819,86	96,85	506,39	282,25	290,55	0,00	2318,89	9007,13	3219,43	238,40	132,82	68,43	15,57	204,57	238,59	6,52	51,09
Rb/Cs	8,30	0,67	2,20	1,50	1,40	6,00	15,18	41,17	16,00	1,36	2,80	2,52	2,54	6,26	7,19	3,17	3,08
Al/Ga	4586,66	3097,55	4586,66	4233,84	4498,46	0,00	5027,69	4948,30	5821,53	4714,96	3743,81	5001,22	3558,62	6577,57	5953,84	3948,87	4690,90
Ba/Sr	4,14	2,10	0,87	1,67	0,86	1,80	1,32	2,10	1,78	0,74	2,08	1,46	0,95	4,68	4,04	1,23	0,71
Ba/Rb	0,09	1,31	0,91	1,33	0,86	0,30	0,05	0,26	0,19	0,32	1,93	0,10	0,10	0,09	0,05	0,06	0,25
Rb/Sr	47,81	1,60	0,96	1,25	1,00	6,00	24,39	8,23	9,48	2,30	1,08	14,35	9,67	52,28	73,54	20,18	2,86
K/Ba	1140,26	110,69	253,20	141,13	242,13	0,00	2820,27	857,82	1073,14	546,92	24,60	266,52	62,26	364,82	604,43	33,82	66,41

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	5682K Escond. fel	5689 Escond. fel	5690A Escond. fel	5690K Escond. fel	5691 Escond. fel	5693 Escond. fel	5663,3 Urbano fel	5663,5 Urbano fel	5654 Toninho fel	5638 Alberto fel	5639 Alberto fel	5640 Alberto fel	5641 Alberto fel	5642 Rames fel	5643 Rames fel	5644 Rames fel	5645 J.Pereira fel
SiO ₂	65,50	67,80	68,40	65,20	63,90	65,60	65,50	65,20	63,80	66,50	64,00	70,90	68,90	65,60	64,90	65,90	63,90
TiO ₂	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Al ₂ O ₃	18,50	19,20	18,80	18,10	17,60	18,60	19,00	18,30	18,40	19,00	17,70	16,20	18,70	18,30	18,40	18,30	17,90
Fe ₂ O ₃	0,05	0,04	0,04	0,04	0,85	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06
FeO	0,01	0,00	0,01	0,01	0,88	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
MnO	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
MgO	0,01	0,00	0,01	0,01	0,26	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,09	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CaO	0,03	0,06	0,04	0,07	0,04	0,01	1,07	0,05	0,01	0,01	0,01	0,04	0,18	0,01	0,01	0,02	0,02
Na ₂ O	3,04	11,78	11,45	1,81	0,55	2,53	8,21	2,32	1,22	7,26	0,55	2,75	10,47	2,86	2,54	2,98	0,87
K ₂ O	11,76	0,11	0,09	13,82	11,17	11,84	5,55	13,02	14,87	5,72	16,58	8,62	0,42	11,98	12,51	11,60	15,93
P ₂ O ₅	0,16	0,12	0,12	0,12	0,04	0,25	0,09	0,23	0,3	0,18	0,04	0,13	0,15	0,15	0,35	0,13	0,07
PF	0,27	0,29	0,41	0,23	5,07	0,34	0,06	0,22	0,71	0,55	0,56	0,92	0,53	0,35	0,58	0,30	0,67
Total	99,34	99,41	99,37	99,42	99,50	99,23	99,55	99,41	99,40	99,28	99,52	99,70	99,41	99,33	99,37	99,30	99,45
Ba	40	13	22	56	116	36	30	60	220	47	69	93	30	23	38	17	61
Cs	681	12	20	821	3974	131	11	137	582	329	273	583	142	360	346	49	585
Ga	17	24	23	18	69	18	24	22	24	26	21	19	29	16	22	18	19
Hf	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Nb	5	10	21	5	18	7	6	7	5	5	6	5	8	7	7	5	5
Pb	24	16	45	45	7	135	66	104	56	21	66	38	7	89	62	90	8
Rb	2852	37	45	45	7576	1468	25	1550	2668	1714	2633	3227	497	1001	1996	744	3905
Sr	31	7	10	10	30	20	25	45	39	12	18	17	26	14	15	14	20
Y	5	5	5	5	38	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Zr	8	16	13	13	5	26	14	12	9	12	11	7	11	22	11	9	8
Li																	
Ab	28,2	99,1	99,3	16,5	6,9	24,5	65,9	21,3	11,1	65,8	4,8	32,6	96,5	26,6	23,6	28,1	7,7
An	0,2	0,3	0,2	0,4	0,3	0,1	4,8	0,3	0,1	0,1	0,0	0,3	0,9	0,1	0,1	0,1	0,1
Or	71,7	0,6	0,5	83,1	92,8	75,4	29,3	78,5	88,9	34,1	95,2	67,2	2,5	73,3	76,4	71,8	92,3
K/Rb	34,23	24,68	16,60	2549,48	12,24	66,95	1842,93	69,73	46,27	27,70	52,27	22,18	7,02	99,35	52,03	129,43	33,87
K/Cs	143,36	76,10	37,36	139,74	23,33	750,30	4188,48	788,95	212,10	144,33	504,17	122,74	24,55	276,26	300,15	1965,25	226,06
Rb/Cs	4,19	3,08	2,25	0,05	1,91	11,21	2,27	11,31	4,58	5,21	9,64	5,54	3,50	2,78	5,77	15,18	6,68
Al/Ga	5759,27	4233,84	4325,88	5321,70	1349,92	5468,71	4189,74	4402,23	4057,43	3867,45	4460,65	4512,38	3412,62	6053,07	4426,29	5380,51	4985,90
Ba/Sr	1,29	1,86	2,20	5,60	3,87	1,80	1,20	1,33	5,64	3,92	3,83	5,47	1,15	1,64	2,53	1,21	3,05
Ba/Rb	0,01	0,35	0,49	1,24	0,02	0,02	1,20	0,04	0,08	0,03	0,03	0,03	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
Rb/Sr	92,00	5,29	4,50	4,50	252,53	73,40	1,00	34,44	68,41	142,83	146,28	189,82	19,12	71,50	133,07	53,14	195,25
K/Ba	2440,64	70,24	33,96	2048,69	799,38	2730,27	1535,78	1801,43	561,11	1010,31	1994,77	769,45	116,22	4324,00	2732,94	5664,55	2167,92

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	5647 J.Pereira fel	5651 J.Pereira fel	5633 Marcial fel	5634 Marcial fel	5636 Marcial fel	5637 Marcial fel	5735.1 granito FK	5735.2 granito FK	5735.3 granito FK	5735.4 granito Pla	5735.5 granito Pla	5736.1 granito FK	5736.2 granito Pla	5736.3 granito FK	5736.4 granito FK	5736.5 granito Pla	5736.6 granito Pla
SiO ₂	65,70	65,40	68,90	65,00	64,70	63,00	64,90	64,84	64,50	67,38	68,16	63,00	68,78	64,57	63,60	63,21	65,33
TiO ₂	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,03	0,01	0,03	0,00
Al ₂ O ₃	18,50	18,40	18,70	18,70	18,00	17,40	18,58	18,55	18,61	20,79	20,75	18,18	19,59	17,79	18,18	22,73	21,50
Fe ₂ O _{3t}	0,04	0,04	0,08	0,05	0,07	0,04											
FeOt							0,00	0,05	0,01	0,02	0,33	0,00	0,04	0,03	0,00	0,03	0,05
FeO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01											
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01
CaO	0,02	0,01	0,19	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00	0,00	1,13	0,29	0,00	0,35	0,00	0,02	3,81	2,46
Na ₂ O	3,02	2,71	10,83	2,20	1,26	1,22	0,80	0,74	0,75	11,06	10,75	0,83	11,37	0,75	0,94	9,39	10,10
K ₂ O	11,79	12,41	0,17	13,02	15,16	15,35	15,82	15,94	15,74	0,12	0,03	15,21	0,06	15,70	15,78	0,12	0,13
P ₂ O ₅	0,14	0,17	0,29	0,36	0,11	0,04											
PF	0,19	0,22	0,24	0,05	0,08	2,49											
Total	99,43	99,39	99,42	99,42	99,45	99,58	100,14	100,09	99,60	100,50	100,03	97,23	100,18	98,84	98,55	99,29	99,53
Ba	52	25	23	26	30	28											
Cs	85	121	15	91	145	256											
Ga	18	20	28	19	16	18											
Hf	5	5	5	5	5	5											
Nb	5	7	9	5	6	5											
Pb	86	51	19	90	81	5											
Rb	905	1818	38	1054	989	2415											
Sr	20	13	72	18	17	22											
Y	5	5	5	5	5	7											
Zr	9	12	19	10	10	8											
Li																	
Ab	28,0	24,9	98,0	20,4	11,2	10,8	7,1	6,6	6,8	94,0	98,3	7,7	98,0	6,8	8,3	81,1	87,5
An	0,1	0,1	1,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	5,3	1,5	0,0	1,7	0,0	0,1	18,2	11,8
Or	71,9	75,0	1,0	79,5	88,6	89,2	92,8	93,4	93,2	0,7	0,2	92,3	0,3	93,2	91,6	0,7	0,7
K/Rb	108,15	56,67	37,14	102,55	127,25	52,77											
K/Cs	1151,47	851,42	94,08	1187,75	867,94	497,77											
Rb/Cs	10,65	15,02	2,53	11,58	6,82	9,43											
Al/Ga	5439,31	4868,92	3534,50	5208,74	5953,84	5115,89											
Ba/Sr	2,60	1,92	0,32	1,44	1,76	1,27											
Ba/Rb	0,06	0,01	0,61	0,02	0,03	0,01											
Rb/Sr	45,25	139,85	0,53	58,56	58,18	109,77											
K/Ba	1882,21	4120,86	61,36	4157,14	4195,02	4551,00											

continua

continuação

amostra pegmatito mineral	5736.7 granito Pla	5737.1 granito Pla	5737.2 granito Pla	5737.3 granito Pla	5738.1 granito FK	5739.1 granito Pla	5739.2 granito Pla	5739.3 granito Pla	5739.4 granito Pla	5739.5 granito Pla	5739.6 granito FK	5739.7 granito FK	5740.1 granito Pla	5740.2 granito FK	5740.3 granito Pla
SiO ₂	65,74	63,56	64,63	63,75	63,96	62,46	63,59	63,60	62,30	61,36	65,23	64,41	62,73	64,79	65,25
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,02
Al ₂ O ₃	21,82	23,04	22,38	22,87	18,51	22,45	23,06	23,33	23,79	21,16	18,41	18,51	23,60	18,75	23,42
Fe ₂ O _{3t}															
FeO _t	0,00	0,04	0,01	0,04	0,00	0,14	0,03	0,05	0,08	0,00	0,05	0,02	0,11	0,01	0,05
FeO															
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
CaO	2,52	3,98	2,84	3,62	0,02	3,85	4,14	4,00	4,41	2,58	0,02	0,00	4,83	0,04	4,00
Na ₂ O	10,53	9,62	10,08	9,87	0,91	9,41	9,50	9,31	9,17	10,13	0,72	0,24	9,03	1,29	9,35
K ₂ O	0,09	0,31	0,17	0,20	15,99	0,19	0,28	0,26	0,34	0,06	15,99	16,46	0,24	15,13	0,32
P ₂ O ₅															
PF															
Total	100,70	100,51	100,10	100,31	99,43	98,38	100,57	100,51	100,01	95,36	100,41	99,62	100,47	100,03	102,36
Ba															
Cs															
Ga															
Hf															
Nb															
Pb															
Rb															
Sr															
Y															
Zr															
Li															
Ab	87,9	80,0	85,7	82,2	8,0	80,7	79,3	79,6	77,5	87,4	6,4	2,2	76,2	11,5	79,5
An	11,6	18,3	13,3	16,7	0,1	18,2	19,1	18,9	20,6	12,3	0,1	0,0	22,5	0,2	18,8
Or	0,5	1,7	0,9	1,1	91,9	1,1	1,5	1,5	1,9	0,3	93,5	97,8	1,3	88,3	1,8
K/Rb															
K/Cs															
Rb/Cs															
Al/Ga															
Ba/Sr															
Ba/Rb															
Rb/Sr															
K/Ba

Figura 17 - Diagrama ternário representando a extensão da solução sólida em feldspatos, segundo Klein & Hurlbut Jr. (1999).

Figura 18 - Diagramas ternários de feldspatos, que além das isothermas de Deer et al. (1992) estão representados os dados dos 190 feldspatos, de 21 pegmatitos do Campo de Marilac.

Os teores em Rb e Ba nos feldspatos peritíticos, bem como as relações K/Rb e K/Ba, são utilizados para interpretar a evolução interna dos corpos pegmatíticos e também, quando considerados regionalmente, para evidenciar as características metalogenéticas e o grau de diferenciação dos pegmatitos nos elementos Li, Cs, Ta, Hf, Sb, Bi, Sn e Rb (Correia Neves *et al.* 1986). Heier & Taylor (1959a e d) também mostram uma variação dos elementos Ca, Sr, Ba Li, Na, K, Rb, Cs, Pb e Tl das zonas mais externas para o núcleo do pegmatito.

Os valores máximos e mínimos para as razões geoquímicas mais comuns de 190 análises de feldspatos, sendo 69 deste trabalho e as demais de Wegner (1983a e b), Marciano (1985) e Achtschin *et al.* (1996), encontram-se na Tabela 18.

Tabela 18 - Algumas razões químicas, com valores extremos, dos feldspatos analisados do Campo de Marilac.

RAZÃO	VALORES MÁXIMOS (ppm)	VALORES MÍNIMOS (ppm)
K/Rb	2.549,50	2,10
K/Cs	11.140,60	6,50
Rb/Cs	56,43	0,01
Al/Ga	0,66	0,13
Ba/Sr	15,89	0,32
Ba/Rb	11,50	0,01
Rb/Sr	460,00	0,17
K/Ba	24.240,38	7,22

Digno de nota é que num mesmo corpo, por exemplo, o da Lavra do Escondido, a razão K/Rb varia desde 2.549,5 até 2,1; em outro, Lavra do José Pereira, essa razão varia de 108,1 à 33,9, o que reflete a evolução interna dos corpos e a concentração do rubídio em direção ao núcleo. Neste último corpo os dados exibem uma grande dispersão. Os teores em cério encontram-se entre <5 e 3974 (5691 – Escondido) e os de lítio entre 5 e 34 (31.1K – Olho-de-Gato) nas lavras da área em estudo. Esses dados correspondem, em sua quase totalidade, a pegmatitos potássicos na classificação de Lopes Nunes (1973).

A relação K(%) x Rb(ppm), das várias amostras de feldspatos potássicos dos pegmatitos do Campo de Marilac, projetada no gráfico binário de Ahrens *et al.* (1952), modificado por Taylor *et al.* (1956) (Figura 19), demonstra uma crescente diferenciação dos corpos na direção SW-NE da área. Neste gráfico, a linha contínua indica o valor médio que a razão K/Rb toma

para diversos tipos litológicos como por exemplo, granitos, diabásios, basaltos, gabros e meteoritos ($K/Rb=230$), e as linhas tracejadas os limites de variação dessa relação (130 - 450).

Os dados do gráfico K/Rb versus Rb (Figura 20) comparados à distribuição geográfica dos pegmatitos, mostraram uma tendência do aumento do grau de diferenciação destes corpos na direção SW-NE da área de estudo, sendo que o Pegmatito do Alberto é a aquele que apresentou maior concentração em elementos alcalinos raros. Por outro lado, estes feldspatos caem no campo referente a pegmatitos mineralizados em elementos raros, não mineralizados em tântalo de acordo com o gráfico K/Rb versus Cs de Morteani & Gaupp (1989) (Figura 21).

Figura 19 - Gráfico $K \times Rb$ dos 190 feldspatos potássicos do Campo de Marilac. A linha cheia, com valor 230, representa o valor médio que a relação $K \times Rb$ toma para diversas formações geológicas e meteoríticas, segundo Ahrens et al. (1952).

A densidade relativa de algumas amostras de feldspatos foram calculadas com o intuito de se verificar a variação em relação à distribuição dos pegmatitos na área. Como a grande maioria dos cristais são de microclínio macropertitizados, além de algumas amostras conterem finas palhetas de mica, não foi possível traçar a evolução química desses minerais com estes tipos de dados. A Tabela 19 exhibe a relação da densidade relativa com o tipo de feldspato analisado.

Figura 20 - Gráfico K/Rb x Rb dos 190 feldspatos potássicos do Campo de Marilac mostrando o grau de diferenciação do referido campo.

Figura 21 - Gráfico K/Rb x Cs (Morteani & Gaupp 1989) dos 190 feldspatos potássicos do Campo de Marilac. Legenda: A – pegmatitos à mica; B – pegmatitos cerâmicos; C – pegmatitos à metais raros; 1 – pegmatito granítico de Osis Lake; 2 – pegmatitos não mineralizados de Rush Lake; 3 – pegmatitos portadores de Li de Rush Lake; 4 – pegmatitos portadores de Li, Be, Rb e Cs de Bernic Lake e 5 – pegmatito portador de Li, Cs, Ta, Sn e Be de Tanco.

Tabela 19 - Relação da densidade relativa de feldspatos pertencentes a vários pegmatitos do Campo de Marilac.

lavra	amostra	densidade	mineral	observações
Landinho I	5695	2,64	Alb	
	5725	2,59	Alb	
Ferreirinha II	5668	2,68	Alb	
	5670	2,57	K	
	5671	2,60	Alb	
Jonas Lima I	5711	2,35	K	apresenta baixa coesão
	5715	2,55	K	
	5716	2,56	K	
	5718	2,10	?	amostra porosa
	5719A	2,52	Alb	c/ óxido de manganês (?)
	5719K	2,52	K	
	5722A	2,63	K	*
	5722K	2,56	K	
	5723	2,56	K	
Golconda	5713	2,62	Alb	
	5724	2,61	Alb	
Escondido	5676	2,60	Alb	
	5677	2,63	Alb	
	5677-K	2,51	K	c/ grãos de quartzo e Mn (?)
	5679	2,44	K	
	5682A	2,65	Alb	
	5682K	2,53	K	
	5690K	2,41	K	
	5690A	2,58	Alb	
	5691	2,39	K	amostra porosa
	5693	2,57	K	
Urbano	5663-3	2,62	Alb (?)	
	5663-5	2,56	K	
Toninho	5654	2,49	K	possíveis inclusões de mica
Alberto	5637	2,33	K	amostra porosa, com mica
	5638	2,56	?	
	5639	2,53	K	
	5640	2,34	K (?)	
	5641	2,56	Alb	
Rames	5642	2,57	K	
	5643	2,57	K	
	5644	2,55	K	
José Pereira	5645	2,37	K	
	5647	2,57	K	
	5651	2,59	K	
Marcial	5633	2,60	Alb	
	5634	2,57	K	
	5636	2,59	K	

Outro tipo de análise realizada nos feldspatos dos vários pegmatitos estudados foi por espectroscopia de absorção no infravermelho com transformada de Fourier (FTIR). Estas análises exibem, além dos picos característicos do microclínio e albita, distinguidos no intervalo das bandas 800 a 700cm⁻¹ (Figura 22), os picos representativos das seguintes fases fluidas, em ordem decrescente de abundância: água, gás carbônico e, raramente, metano (Figura 23). A Tabela 20 exhibe as bandas dos componentes fluidos juntamente com a Figura 24 desses componentes.

5.2 - POTENCIALIDADE ECONÔMICA

Desde 2.500a.C. até nossos dias, o homem emprega o feldspato como matéria prima. De acordo com Costacurta (1974, *in* Marciano 1984), o feldspato possui diversos empregos como pode ser observado na Tabela 21.

Os pegmatitos foram a principal fonte de feldspato até antes da década de 50. Com o advento da flotação (1950) é possível hoje se obter nos alaskitos, nefelina sienitos, alcalifeldspato granitos, aplitos e outras rochas ricas em feldspato, quantidades muito maiores que as obtidas nos pegmatitos. Os leucogranitos constituem uma fonte inesgotável de feldspatos. Porém os pegmatitos ainda representam uma considerável fonte de feldspatos.

Dentre todas as utilizações do feldspato, a da indústria de material cerâmico é a mais comum. Uma pequena parcela é usada na manufatura de vidro e, mais raramente como material ornamental (amazonita) e/ou gemas (pedra-da-lua, pedra-do-sol, labradorita). As rochas com grande quantidade de feldspatos coloridos e/ou zonados também são utilizadas como pedras ornamentais ou de revestimento.

Outras aplicações do feldspato além da indústria vidreira e cerâmica, juntamente com o caulim é na fabricação de vidros opalescentes, próteses dentárias, pastas, tintas, sinalização de estradas, vernizes, abrasivos e eletrodos para soldas. Na indústria de papel, o caulim também é empregado.

Segundo Moreira (1994), cerca de 60% da produção brasileira de feldspato, com baixos teores de ferro, é utilizada para a indústria cerâmica e 40% para vidreira. Os maiores produtores são os estados de Minas Gerais (45%) e de São Paulo (20%). No caso do mercado internacional, que usa esse mineral principalmente para a indústria do vidro, o feldspato nacional não é muito

Figura 22 – Espectros de absorção no infravermelho de 42 cristais de feldspatos do Campo de Marilac exibindo as feições de duas bandas no intervalo de 800 a 700 cm^{-1} para os feldspatos potássicos e quatro para as albitas (5722k da Golconda I). As amostras 5691 do Escondido e 5634 do Marcial apresentam-se com graus de alteração diferentes.

Figura 23 – Espectros de absorção no infravermelho de 42 cristais de feldspatos do Campo de Marilac exibindo as bandas de 3.630cm^{-1} para a água de absorção, de 2.320 e 2.360cm^{-1} para o gás carbônico e 2.840 e 2.920cm^{-1} para o metano.

Tabela 20 – Bandas de absorção da ligação Al-Si, CO₂, H₂O e CH₄ com as respectivas transmitâncias. Comprimento de ondas em cm⁻¹.

Lavra	Amostr	Picos de ligações Al-Si				CO ₂		H ₂ O		CH ₄			
		Comp de Onda	Transm	Comp de Onda	Transm	Comp de Onda	Transm	Comp de Onda	Transm	Comp de Onda	Transm	Comp de Onda	Transm
Ipê	5453	729	42,17	771,38	43,24	2358,9	64,46	3648,6	49,95	-	-	-	-
	5481	729,09	43,24	771,67	45,55	2358,9	62,33	3649	51,15	-	-	-	-
Ferreirinha II	5670	728,96	43,96	771,54	44,65	2349	67,97	-	-	2879,6	59,73	-	-
S. Domingos	5581	728,96	49,01	771,62	49,78	-	-	3652,9	57,56	-	-	-	-
	5582	729,05	22,41	773,13	23,09	-	-	-	-	-	-	2939,3	30,83
Crioulo	5579	728	42,73	771,53	44,43	2356,6	67,2	3654,8	51,02	-	-	-	-
	5579K	-	-	-	-	2358,7	53,94	-	-	-	-	-	-
Ferreirinha I	2301	729,09	26,1	771,72	28,06	2360,1	33,43	3675,9	41,62	2883,3	43,1	2939,8	43,13
	2513	728,82	2,864	773,13	3,013	2360,5	7,609	3649	7,219	2887,2	8,11	2935,4	7,985
Olho-de-Gato	2315	728,96	32,54	771,24	32,54	2349,1	61,59	3660,5	41,93	2881,4	49,39	2941,2	48,77
	2327	729,03	2,822	775,85	2,698	2349,1	5,659	3664,4	4,788	2887,2	4,451	2943,1	4,266
	2328	729	8,127	775,33	7,972	2349,1	28,13	-	-	-	-	2941,2	22,77
	2537A	729,05	8,118	774,98	7,972	2349,2	28,11	3664,5	21,46	-	-	-	-
	2538	728,92	41,24	771,2	44,12	2358,6	64,62	3649,1	49,11	-	-	2939,3	57,34
	2539	727,1	44,25	767,52	46,3	2360,5	60,39	3648,9	48,64	-	-	-	-
	2541A	729,04	38,68	771,48	40,94	2358,9	59,74	3649	47,07	2874	58,96	-	-
	2543A	729,4	61,45	771,51	62,89	2360,6	74,33	3648,8	68,85	2877,6	79,42	2941,2	78,86
Boi	2072A	729,15	4,187	773,55	3,823	2349	21,2	3651	13,34	-	-	-	-
Jonas Lima II	5614	727,18	16,21	767,57	17,15	2349,2	22,09	-	-	-	-	2941,2	17,65
J. Lima I	272A	728,88	11,51	771,44	12,11	2360,7	20,86	3649	20,19	-	-	2941,2	23,57
	275A	728,96	7,561	771,44	7,534	2349,2	25,55	-	-	-	-	2941,2	19,56
	5711	728,99	54,03	771,42	56,5	2358,7	88,97	3649	78,68	-	-	-	-
	5715	728,98	56,06	771,38	55,93	2358,8	80,55	3649	64,27	-	-	-	-
	5719	728,99	62	771,42	65,15	2360,9	83,27	3649	73,69	-	-	-	-
	5722A	-	-	-	-	2360,6	82,09	3649	75,7	-	-	-	-
	5722K	728,96	44,54	771,43	45,48	2360,7	71,18	3649	75,7	-	-	-	-
	5723	729,06	53,12	771,49	55,49	2360,6	65,13	3649	61,36	-	-	-	-
Golconda I	5570	729,02	58,92	771,05	61,28	2358,8	83,89	3649	72,6	-	-	-	-
	5571	729,09	77,98	771,44	79,31	2341,3	93,53	3651	87,18	-	-	-	-
	5572	729,03	47,37	773,33	48,08	2355,9	72,03	-	-	-	-	-	-
Escondido	5677K	726,97	16,22	767,61	17,16	2349	23,09	-	-	-	-	2941,2	17,65
	5679	730,92	18,03	771,56	18,45	2349,1	31,58	-	-	2879,5	26,35	-	-
	5682K	729,16	7,582	771,42	7,898	2349	13,41	-	-	2881,4	11,34	2939,3	11,27
	5690K	728,9	9,889	771,38	9,645	2349,1	22,51	-	-	-	-	-	-
	5693	728,88	53,23	773,46	55,39	2360,8	89,4	3649	69,71	-	-	-	-
Urbano	5663-5	729,02	51,68	771,5	53,48	2349,1	69,53	-	-	2879,5	60,85	2937,4	60,1
Toninho	5654	729,05	55,13	771,42	57,06	2349,1	88,88	-	-	-	-	-	-
Alberto	5639	728,88	36,74	773,46	37,67	2349,1	53,97	-	-	-	-	2941,2	45,55
Rames	5643	728,98	24,54	773,38	24,96	2351	57,85	-	-	2883,4	50,16	2939,3	49,45
	5644	729,04	57,07	771,4	28,06	2351	93,32	-	-	2881,4	86,67	-	-
J. Pereira	5647	729,04	52,08	771,5	52,5	2351	93,89	-	-	-	-	2939,3	75,01
	5651	729,12	54,21	771,47	53,69	-	-	-	-	-	-	2937,3	73,73
Marcial	5634	728,9	9,176	777,18	8,253	2349	9,948	-	-	-	-	-	-
	5637	729,1	11,25	773,32	11,05	2348,9	25,19	-	-	-	-	2939,3	20,3

Figura 24 – Distribuição dos componentes fluidos presentes nos feldspatos do Campo de Marilac.

aceito devido os elevados teores de ferro e a propriedade da expansividade. O feldspato usado na indústria do vidro, de acordo com Netto *et al.* (1999), deve ter Al_2O_3 acima de 15% (tipo B) ou acima de 18,5% (tipo A); álcalis acima de 11,5% (tipo B) ou acima de 14,0% (tipo A); Fe_2O_3 abaixo de 0,3% (tipo B) ou abaixo de 0,1% (tipo A), além da restrição quanto a presença de minerais refratários e granulometria entre 35 e 200 mesh. Para uso cerâmico, além de algumas restrições químicas menos rígidas, exige-se coeficiente de expansão limitado e granulometria abaixo de 200 mesh.

Na região de Governador Valadares, o feldspato bruto de qualidade inferior é comercializado por volta de US\$8.00/t, enquanto o puro, de primeira, por volta de US\$15.00. O feldspato com o maior valor de venda é a albita, sendo cotado a US\$35.00/t (Netto *et al.* 1999).

Tabela 21 - *Uso industrial do feldspato através dos vários períodos da humanidade.*

PERÍODO	POVOS/REGIÃO	UTENSÍLIOS
2.500 a.C.	Egípcios e Fenícios	barros vidrados e pérolas de vidro
1.500 a.C.	Egípcios	vidros muito perfeitos utilizados na decoração
618 a 907	China	primeiras porcelanas verdadeiras
século VII	Normandia	vidro cor de safira
960 a 1.280	China (King-To-Tchen)	metrópole da porcelana
918 a 1.392	Coréia	desenvolvimento da porcelana coreana que começou a competir com a chinesa
século X	Veneza	passa a ser centro de importação oriental
século XIII	Oriente e Veneza	centros da vidraria
século XIV	Europa (Amsterdã)	centros importadores de vidro
século XVI	Nurembergue, Praga e Barcelona	importantes oficinas de vidro, decorações esmaltadas
1.665	Saint-Antoine, França	espelhos
século XVIII	Boêmia	supremacia do vidro utilizando técnicas para colorir de Kunkel;
	França	manufatura de cerâmica com várias fábricas
século XIX	França (Baccarat, Saint Gabain, Aniche) e Inglaterra	formação de centros onde havia a difusão da arte do vidro devido à evolução de progressos técnicos. Estudo da cerâmica como ciência (fim do século)
século XX	Brasil (com destaque)	renovação de processos antigos na fabricação de vários tipos de vidro, com a Instalação das primeiras indústrias, tanto de cerâmica como de vidro, em São Paulo, no início do século.

Quanto aos dados obtidos neste trabalho, os teores em Fe, Mn e Ti estão muito próximos dos limites de detecção das análises, sendo indicativos de feldspatos com possibilidade de aplicação em cerâmica ou como *filler*. Outros teores químicos destes feldspatos, de acordo com as especificações da indústria cerâmica (Ferreira 1995, *in* Silva *et al.* 1996), estão relacionados a seguir.

- ❖ $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} = 13,0\%$ na maioria das amostras (1ª qualidade), sendo que nas restantes é = 10,0% (2ª qualidade);
- ❖ Al_2O_3 é sempre $\geq 18,0\%$ (1ª qualidade) (quando for = 15% - 2ª qualidade);
- ❖ SiO_2 está entre 65,8 e 67,75% (= 67,0% - 1ª qualidade) (quando for $<< 71,0\%$ - 2ª qualidade);
- ❖ Fe_2O_3 encontra-se entre 0,04 e 0,10 (= 0,1% - 1ª qualidade) (quando for = 0,51% - 2ª qualidade);
- ❖ TiO_2 é sempre $<$ ou igual a 0,02 ($< 0,2\%$ - 1ª qualidade);
- ❖ $\text{CaO} + \text{MgO}$ é na maioria das amostras $< 0,3$ (= 0,3% - 1ª qualidade).

Os testes de queima até 1.000°C exibiram cor branca para os cones de prova. Até nesta temperatura não se mostraram piroexpansíveis. Estes materiais ainda não foram submetidos a temperaturas maiores (Tabela 22). Entretanto, a queima à 1.250°C em outros feldspatos deste Distrito Pegmatítico são piroexpansíveis, apresentando esta propriedade em intensidades diferentes, ocasionando deformação destes cones, o que os impede de serem utilizados na indústria de cerâmica branca. Esses feldspatos são aplicáveis na indústria de vidro em suas várias especificações.

Uma das maiores lavras pertencente à área em estudo, a do Ipê, visa a extração de feldspato para a indústria, além de peças de coleção e de água-marinha. A Tabela 23 mostra as especificações dos feldspatos da Lavra do Ipê beneficiados pela Prominex Mineração LTDA (Achtschin *et al.* 1996).

No Pegmatito Ipê, o feldspato de maior apreciação no mercado foi o feldspato potássico, retirado da zona intermédia do corpo, classificado como de primeira categoria, sendo também aproveitado o feldspato gráfico classificado como de segunda.

Atualmente, a situação dos pegmatitos para a exploração de feldspatos não é a das melhores. A falta de recursos financeiros e de tecnologia associado a má qualidade das vias de acesso às lavras, muitas delas estão se tornando antieconômicas, apesar da qualidade dos feldspatos do Campo Pegmatítico de Marilac.

Tabela 22 - Ensaio tecnológico de queima em forno para obtenção de parâmetros de perda de massa e alongamento médio, como referência para uso industrial dos feldspatos.

lavra	amostra	peso (g)	maior aresta (cm)			volume (cm ³)	peso(g) após queima a 110°C	maior aresta (cm)			volume (cm ³)	Rs (%)	perda em massa (%)
			frente	cima	lado			frente	cima	lado			
Ferreirinha II	5670A	18,640	2,18	1,83	2,00	7,98	18,627	2,17	1,83	2,01	7,98	0,000	0,001
São Domingos	5581B	26,979	2,16	2,27	2,32	11,38	26,860	2,20	2,29	2,33	11,74	-1,026	0,004
Jonas Lima II	5614B	27,439	2,23	2,33	2,23	11,59	27,404	2,24	2,34	2,25	11,79	-0,586	0,001
Jonas Lima I	5716A	23,080	2,03	2,05	2,31	9,61	23,074	2,00	2,09	2,36	9,86	-0,930	0,000
	5716B	23,699	2,00	2,10	2,30	9,66	23,675	2,03	2,06	2,40	10,04	-1,387	0,001
Escondido	5677A	17,467	2,15	2,12	2,09	9,53	17,428	2,15	2,10	2,14	9,66	-0,469	0,002
	5679A	17,439	1,92	1,96	2,02	7,60	17,403	1,91	1,96	2,06	7,71	-0,506	0,002
	5693A	19,313	2,02	1,97	2,00	7,96	19,296	2,03	1,90	2,10	8,10	-0,663	0,001
	5693B	20,205	2,05	1,97	2,09	8,44	20,122	2,04	2,00	2,10	8,57	-0,489	0,004
Toninho	5654A	19,188	2,04	2,04	2,14	8,91	19,104	2,04	2,03	2,14	8,86	0,161	0,004
Alberto	5639B	26,883	2,16	2,11	2,12	9,66	23,751	2,16	2,22	2,13	10,21	-1,843	0,117
	5640A	21,334	2,18	2,02	2,14	9,42	21,280	2,16	2,01	2,11	9,16	0,955	0,003
	5640B	19,917	2,13	2,02	2,01	8,65	19,822	2,15	2,05	2,03	8,95	-1,124	0,005
Rames	5642A	19,958	1,96	1,95	2,15	8,22	19,908	1,96	1,96	2,15	8,26	-0,165	0,003
	5642B	20,340	1,95	2,05	2,02	8,07	20,173	1,96	2,07	2,05	8,32	-0,987	0,008
	5644A	20,141	2,01	2,00	2,09	8,40	20,122	1,97	2,00	2,16	8,51	-0,489	0,001
José Pereira	5647A	19,980	1,82	2,08	2,16	8,18	19,972	1,85	2,08	2,19	8,43	-0,980	0,000

Teste de queima a 110°C

lavra	amostra	peso inicial (g)	peso final (g)	perda em massa (%)	diam. m. inicial (cm)	diam. m. final (cm)	Rq (%)
Ferreirinha II	5670	20,813	20,458	1,71	3,955	4,000	1,14
José Pereira	5647	21,334	21,222	0,52	3,960	3,995	0,88

Testes de queima a 950°C

$$Rs (\%) = 100 \cdot (L_0 - L_1) / L_1$$

$$Rq (\%) = 100 \cdot (L_{11} - L_1) / L_1$$

Tabela 23 - Especificações do mercado consumidor para a indústria vidreira.

FELDSPATO - FONTE DE Al_2O_3				
ESPECIFICAÇÃO QUÍMICA $R_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$				
COMPONENTES	TIPO A		TIPO B	
%	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
P.F.	0,23	0,30	0,38	0,60
SiO_2	65,7	66,7	64,00	67,00
Al_2O_3	17,50	19,50	15,00	17,00
CaO	<0,13		-	
MgO	<0,007		-	
K_2O	10,50	12,50	11,00	12,00
Fe_2O_3	0,034	0,065	0,07	0,09
Na_2O	2,3	3,1	2,90	3,40

MINERALOGIA

MINERAIS	VALORES EM (%)	
Ortoclásio	72,2	65,7
Albita	21,1	24,5
Quartzo Livre	3,6	3,6

GRANULOMETRIA (% simples retida em Malha ABTN)

(% retida)	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
30	0,00	0,006	0,004	0,08
40	0,90	1,70	-	-
50	7,40	10,70	-	-
60	-	-	0,30	2,70
70	16,88	22,6	-	-
100	17,60	21,00	-	-
140	17,80	21,90	7,50	17,20
200	11,30	15,30	-	-
Pass 200	12,10	23,20	-	-
230	-	-	29,80	38,90
325	-	-	42,90	49,40

Observações: Tipo A: Para vidros de melhor qualidade.

Tipo B: Para vidros de tela de televisão e cone de cinescópio

6 - MICAS

As micas ocupam o terceiro lugar em abundância nos corpos pegmatíticos, depois do grupo da sílica e dos feldspatos.

São filossilicatos e apresentam-se constituídos por estruturas em folha onde os cátions podem assumir coordenação tetraédrica ou octaédrica (Figura 25). A fórmula geral que descreve a composição química das micas, para sua estrutura teórica, pode ser escrita da seguinte forma:

onde: X - cátions intercamadas com coordenação doze: K, Na, Ca;

Y - cátions em coordenação octaédrica: Al e Mg;

Z - cátions em coordenação tetraédrica: Si e Al.

Os elementos Rb e Cs substitutos do K, e o Li que pode substituir o Al na camada octaédrica, são particularmente concentrados na estrutura destes minerais.

Por meio de espectroscopia de absorção no infravermelho, Jørgensen (1964, *in* Estep-Barnes 1977) utilizou as vibrações do grupo OH^- para demonstrar a diferença entre micas dioctaédricas (muscovita, lepidolita) e trioctaédricas (biotita, flogopita), enquanto Kirrev (1969, *in* Estep-Barnes 1977) além de utilizar as bandas nas regiões de 1.030 e 800cm^{-1} para distinguir micas dioctaédricas de trioctaédricas, também usou a razão Al/Si para determinar as condições de P e T de formação deste mineral.

Devido à sua estrutura e por cristalizar em todas as zonas do pegmatito, as micas são fases minerais adequadas para analisar não só a evolução interna dos corpos, mas também seu potencial metalogenético (Lopes Nunes 1973).

Figura 25 - Estrutura 2:1 das micas. a) (1) - vista de uma folha tetraédrica idealmente estilizada, mostrando as possíveis células hexagonais (linhas pontilhadas) e orto-hexagonal (linhas cheias); b) esquema de uma folha octaédrica com grupos OH, F hachurados e c) união de 2 folhas tetraédricas a 1 octaédrica, com os planos comuns de união #1 e #2 assinalados (Bailey 1984).

O empacotamento das camadas compostas da estrutura da mica dá origem a politipos diferentes. Smith & Yoder (1956) mostraram que somente 6 politipos são possíveis com periodicidade entre 1 e 6 camadas (Figura 26), com um único ângulo de empacotamento intercamadas determinando um dado politipo. Na Tabela 24 tem-se os 6 politipos com suas dimensões e o ângulo, além do grupo de simetria espacial a que pertencem. A difração de raios X é o método mais simples para a identificação dos politipos de mica (Tabela 25), com maior precisão para a técnica do cristal único, enquanto que o método do pó não permite identificar os politipos 1M e 3T.

Figura 26 - Derivação dos 6 padrões de mica, sendo que a origem de cada cela unitária resultante é marcada no centro de um anel hexagonal na primeira folha, de acordo com a simetria (Bailey 1984).

Tabela 24 - Polítipos das micas e características da malha. *Somente o grupo espacial derivado $P_{6,122}$ tem sido reconhecido nesse tipo (Hawthorne & Cerný 1982).

POLITIPO	$\sim a_0 - \text{\AA}$	$\sim b_0 - \text{\AA}$	$\sim c_0 - \text{\AA}$	$\sim \beta^\circ$	Grupo Espacial
1M	5,25	9,10	10,20	100	C2/m
2M ₁	5,25	9,10	20,00	95	C2/c
2M ₂	9,00	5,20	20,00	100	C2/c
2Or	5,50	9,50	20,00	90	Ccmm*
3T	5,20	5,20	30,00	$\gamma=120$	P3 ₁ 12
6H	5,20	5,20	60,00	$\gamma=120$	P6 ₁ 22

Tabela 25 - Politipos das micas mais comuns com os valores de $d(\text{\AA})$ juntamente com os principais planos (hkl). Os símbolos indicam: ✕ reflexões que devem estar presentes no difratograma de raios X; ✓ devem estar ausentes e ★ para reflexões pouco nítidas. Os espaços em branco podem ou não ter leitura (Lopes Nunes 1972).

Politipos	3,73Å (023)	3,66Å (11 $\bar{2}$)	3,50Å (11 $\bar{4}$)	3,20Å (114)	3,08Å (112)	2,99Å (025)	2,90Å (11 $\bar{3}$)	2,89Å (115)	2,86Å (115)
2M ₁	✕		✕	✕		✕			
1M		✕		✓	✕	✓			
2M ₂	✓					✓			
1M+2M ₂	✓					✓	✕	✕	✕
1M+2M ₁	✕					✕	★	★	
2M ₁ +2M ₂		não	há	meio					

De acordo com Bailey (1984), o politipo 6H foi encontrado em uma única amostra de uma mica quebradiça de Ba e Fe, conhecida como anandita. Segundo Hawthorne & Cerný (1982), outro politipo, 1Md, aparece em uma seqüência de empilhamento desordenado, principalmente nas micas trioctaédricas. A Tabela 26, ilustra os tipos de micas mais frequentes nos pegmatitos. Para a muscovita litinífera, seu politipo não difere da muscovita porque o teor de lítio, de até 3,5%, não modifica sua estrutura.

Tabela 26 - Politipos ideais associados a cada espécie de micas mais comuns em ambientes pegmatíticos (simplificado de Hawthorne & Cerný 1982).

Trioctaédricas				Dioctaédricas			
espécies	abundância			espécies	abundância		
	alta	média	baixa		alta	média	baixa
flogopita	1M, 1Md	3T	2M ₁	muscovita muscovita litinífera muscovita de Ba muscovita de Mg	2M ₁	1M, 1Md	3T
biotita	1M, 1Md	3T	2M ₁		2M ₁		
siderofilita	1M				1M		
lepidomelana	1M				1M		
lepidolita	1M, 2M ₂	3T	2M ₁		1M		
zinnwaldita	1M, 1Md	2M ₁ , 3T					

6.1 - MICAS DO CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC

As micas ocorrem nas zonas marginal, mural intermédia e nas unidades de substituição. Suas dimensões variam desde cristais milimétricos encontrados na zona gráfica e também nas unidades de substituição até cristais de 30 a 60cm de mica clara da região limite entre as zonas gráficas e intermédia. Há ocorrência de mica submilimétrica com agregado maciço, e também muscovita litinífera de grão milimétrico e coloração rósea.

Os vários exemplares de muscovita correspondentes a 22 pegmatitos, zonados simples a complexos, situados na área pertencente a este estudo, foram analisados por diversas metodologias incluindo difratometria de raios X, espectroscopia de absorção no infravermelho, fluorescência de raios X e absorção atômica (Wegner 1983a e b, Marciano 1985, Correia Neves *et al.* 1986 e Achtschin *et al.* 1996).

Através de análises de difratometria de raios X (Tabela 27), foram caracterizados os politipos de muscovita; o $2M_1$ é o mais freqüente, ocorrendo mais raramente o 1M. Em algumas amostra foram identificados picos de zinnwaldita. Os tipos $2M_2$ e 1Md, de acordo com Marciano (1985) estão presentes nos pegmatitos do Boi e o $2M_2$ nos do Ferreirinha I, Olho-de-Gato e Jonas Lima I. Nos corpos de substituição há associação de dois politipos em um mesmo cristal, como por exemplo, $2M_1 + 1M$ ou $2M_1 + 2M_2$.

Quanto às análises dos elementos maiores, menores e traço, estes últimos elementos servem como indicadores do potencial econômico dos pegmatitos e são característicos de diferentes estágios da evolução pegmatítica. Entretanto, neste trabalho nem todos os elementos traço foram analisados em todas as amostras, por isso o número de dados apresentados varia em cada um dos gráficos. O lítio e o gálio, por exemplo, não foram analisados em várias amostras conforme está mostrado na Tabela 28.

As razões $K/Rb = 247,09 - 10,14$, $K/Cs = 8.799,60 - 46,50$, $Rb/Cs = 198,90 - 0,84$, $Rb/Sr = 1.260,00 - 9,29$, $Al/Ga = 280,8 - 13,7$, $Ba/Sr = 46,24 - 0,01$, $Ba/Rb = 3,23 - 0,01$, $K/Ba = 8.882,60 - 51,78$ e $Li/Cs = 29,1 - 1,4$, de Wegner 1983a, Marciano 1985 e do atual trabalho, representam pegmatitos onde o grau de diferenciação tende para corpos pouco diferenciados. A

relação entre o conteúdo de K(%) e o Rb(ppm), das várias amostras de micas dos pegmatitos do Campo de Marilac, é mostrada no gráfico da Figura 27, originalmente proposto por Ahrens *et al.* (1952) e modificado por Taylor *et al.* (1956), o qual demonstra, da mesma maneira que nos feldspatos potássicos, uma crescente diferenciação dos corpos na direção SW-NE da área. Neste gráfico, a linha contínua indica o valor médio que a razão K/Rb toma para os diversos tipos litológicos como por exemplo, granitos, diabásios, basaltos, gabros e meteoritos ($K/Rb = 230$), sendo que as linhas tracejadas indicam os limites de variação dessa relação (130 - 450). O referido diagrama evidencia que as lavras estudadas apresentam grau de diferenciação variado. Quando comparados com os valores publicados por Hawthorne & Cerný (1982), as razões geoquímicas obtidas para a muscovita do Campo de Marilac são de alguma forma similares as de pegmatitos a mica e do tipo feldspato potássico (Tabela 29). Segundo os autores citados, há carência de dados para as classes de pegmatitos muscovíticos a cerâmicos. Ao compararmos as razões geoquímicas dos pegmatitos do Campo de Marilac com aquelas obtidas por Lopes Nunes (1973) para pegmatitos de Moçambique, verificamos que elas se aproximam mais daquelas classificadas como do tipo potássico, tipo radioativo e sodolíticas com muscovita com teores em Li_2O menor do que 0,5%, tendo em vista que somente duas das amostras do Campo de Marilac apresentaram teores em Li_2O superiores a 0,5%.

Tabela 27 – Cella unitária dos politipos das micas do Campo Pegmatítico de Marilac.

	amostra	politipo	$a_0 - \text{\AA}$	$b_0 - \text{\AA}$	$c_0 - \text{\AA}$	β°	$V - \text{\AA}^3$
Arizio	5698mos	$2M_1 + 1M$	5,3240	13,9686	15,2352	102,1682	1107,5604
Ladinho I	5694mos	$2M_1$	5,2001	9,0347	19,8896	95,5932	929,9937
Ipê	5528mos	$2M_1$	5,2221	9,0147	20,0113	95,5436	937,6365
	5530mos	$2M_1$	5,1583	9,0612	19,9503	95,7695	927,7550
	5533mos1	$2M_1$	5,3724	8,9347	19,8898	93,4708	952,9834
	5533mos2	$2M_1$	5,2032	8,9493	19,9837	95,6202	926,0800
Ferreir. II	5667bio	$2M_1$	5,3370	9,2293	20,1426	94,9809	988,4039
	5667mos	$2M_1 + 1M$	5,2073	8,9936	19,8828	95,7322	926,5066
	5668mos2	$2M_1$	5,2207	9,0178	19,9970	95,4772	937,1424
	5670mos	$2M_1$	5,2130	8,9934	20,0914	95,8378	937,0509
	5670mos2	$2M_1$	5,1984	9,0021	20,0069	95,7140	931,5959
	5672bio	$2M_1 + 1M$	8,0360	7,6510	20,0105	143,2464	736,1912
	5672mos	$2M_1$	5,2007	8,9866	20,0151	95,7189	930,7902
Crioulo	5579bio	$2M_1 + 1M$	6,6185	9,1503	15,8781	108,6123	911,3088
	5579mos	$2M_1 + 1M$	5,1874	9,0017	19,9993	95,5146	929,5605
	5579mos1	$2M_1$	5,1987	9,0230	20,0365	95,7496	935,1374
J. Lima II	5611mos	$2M_1 + 1M$	5,1637	9,0570	19,9668	95,6120	929,3248
	5616mos	$2M_1$	5,2246	9,0445	20,0679	95,5928	943,7697
	5715bio	$2M_1$	5,2623	9,3122	20,1570	96,1009	982,1769
	5716mos1	$2M_1 + 1M$	5,4586	9,2107	19,0383	95,8254	952,2565
	5720mos	$2M_1$	5,2127	9,0344	20,0244	95,8817	938,0530
Golc. III	5664mos	$2M_1 + 1M$	5,4105	9,2305	19,0093	95,8108	944,4832
	5664mos2	$2M_1$	5,2004	9,0086	19,9498	95,4062	930,4657
Golc. I	5562bio	M_1	5,3596	9,1327	10,6389	98,9350	514,4322
	5562mos1	$2M_1 + 1M$	5,2115	8,9438	19,9899	95,6099	927,2789
	5563mos	$2M_1 + 1M$	5,5543	11,0224	16,9947	102,3638	1016,3164
	5568mos1	$2M_1$	5,2027	9,0014	20,0065	95,5908	932,4796
	5713mos	$2M_1$	5,2027	9,0142	19,9662	95,7789	931,6289
Escondido	5678mos	$2M_1$	5,1846	9,0490	19,8774	95,9930	927,4663
	5683mos	$2M_1 + 1M$	5,2297	9,0265	19,9800	95,7757	938,3959
	5692mos	$2M_1$	5,2048	9,0173	20,0249	95,7051	935,1755
Urbano	5662mos	$2M_1$	5,1948	9,0241	20,0457	95,4419	935,4728
	5663mos2	$2M_1$	5,1852	8,9957	20,0007	95,6823	928,3396
Toninho	5654mos	$2M_1 + 1M$	5,1862	9,0129	19,9788	95,3919	929,7219
Ferrinho	5657mos	$2M_1$	5,1841	9,0122	20,0213	95,7069	930,7594
Alberto	5641mos	$2M_1$	5,2132	9,0221	20,0633	95,7854	938,8507
J. Pereira	5646mos	$2M_1 + 1M$	5,1648	8,9726	20,0726	95,4727	925,9530
	5651mos2	$2M_1$	5,2103	9,0328	20,0751	95,5502	940,3859
	5666mos	$2M_1$	5,2155	9,0197	20,0113	95,7668	936,6255
Marcial	5636mos	$2M_1$	5,2227	9,0068	20,0225	95,4850	937,5453
	5637mos	$2M_1 + 1M$	5,2558	9,0834	19,6935	95,6406	935,6220
Doca e	5659mos1	$2M_1 + 1M$	4,8037	9,2873	19,0702	99,7697	838,4544
	5659mos2	$2M_1 + 1M$	5,1721	9,0238	19,8596	95,8612	922,0291
Helder	5660mos	$2M_1$	5,2352	9,0020	19,8847	95,7713	932,3550

Tabela 28 – Análises químicas de 95 micas de 23 pegmatitos do Campo de Marilac obtidas por fluorescência de raios X, e microsonda eletrônica para a biotita dos granitos. Espaço em branco – elementos não analisados

amostra análise pegmatito mineral	4.109	4.14	4.23	4.6	4.7	5698M	5694M	13.6	13.8	13.17	13.22	13.111a	13.111b	13.113	13.115	5387M	5391Bio	5435Bio	5528M
	C.Alto W mus	C.Alto W mus	C.Alto W mus	C.Alto W mus	C.Alto W mus	Arizio mus	Ladinho I mus	Ipê W mus	Ipê W mus	Ipê W bio	Ipê W mus	Ipê W bio	Ipê W mus	Ipê W mus	Ipê W mus	Ipê A mus	Ipê A bio	Ipê A bio	Ipê mus
SiO ₂	45,55	44,71	45,52	45,34	45,09	46,20	45,50	45,04	45,49	35,07	45,47	35,67	45,40	44,62	45,58				46,40
TiO ₂	0,16	0,23	0,11	0,10	0,17	0,20	0,10	0,12	0,14	1,53	0,15	1,97	0,47	0,31	0,28	0,11	2,60	0,43	0,15
Al ₂ O ₃	33,91	33,27	34,01	34,01	33,64	35,20	35,00	34,03	34,43	19,84	34,05	19,42	33,69	32,09	34,01				35,10
Fe ₂ O ₃						0,81	0,60			5,34		4,99				2,80	6,30	3,90	1,30
Fe ₂ O _{3t}	2,34	2,71	2,61	2,57	2,86	2,10	2,00	2,73	2,77	25,77	2,21	23,90	1,81	3,23	2,13	7,13	28,30	5,34	2,50
FeO						1,16	1,26			18,38		17,02				3,90	19,80	1,30	1,08
FeOt																			
MnO	0,04	0,10	0,04	0,04	0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	0,58	0,03	0,59	0,03	0,07	0,03	0,00	0,00	0,00	<0,05
MgO	1,23	0,70	1,07	1,04	0,77	0,81	0,72	0,47	0,49	5,96	0,81	7,09	1,01	0,91	0,94	0,00	0,00	0,00	0,87
CaO						<0,05	<0,05												<0,05
Na ₂ O	0,42	0,77	0,67	0,53	0,58	0,71	0,70	0,65	0,68		0,69	0,02	0,63	0,39	0,66	0,00	0,00	0,00	0,71
K ₂ O	10,11	10,06	10,14	10,15	10,03	10,00	10,30	10,06	10,20	9,22	10,18	9,27	10,12	10,26	10,26	10,60	9,70	10,40	10,70
P ₂ O ₅	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	<0,05	<0,05	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01							<0,05
Li ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,84	0,58	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,04	0,02	0,82
PF	5,00	4,80	4,80	4,80	5,00	4,42	4,21	4,90	4,90	2,40	5,00	2,20	5,00	4,80	5,00	0,00	0,00	0,00	4,10
Total	98,78	97,37	98,99	98,60	98,21	100,63	99,26	98,07	99,17	100,38	98,60	100,14	98,16	96,68	98,89	17,92	40,64	16,19	101,50
F																			
Ba	61	1613	10	69	77	15,4	53	115	105	123	115	447	1098	117	239				13,6
Cs						<10	<10												61
Ga	141	151	159	157	157	99,9	96,5	165	164	82	145	57	88	98	127				97,6
Hf						<10	<10												<10
Nb	465	436	515	510	429	451	325	219	215	853	527	409	193	173	302				261
Pb	6	9	7	8	7	<10	13,7	13	5	14	13	301	19	31					12,1
Rb	818	1859	1169	1228	1874	897	645	2256	2361	1139	800	919	340	1439	527	2131	956	1772	1853
Sr						17,3	18,1												18,3
Y	tr	22	tr	tr	19	<5	5,1	25	25	15	tr	tr	tr	tr	tr				6,4
Zr						11,3	10,8												9,5
Zn	109	143	146	123	205			168	167	779	94	712	40	114	76				
V	"	"	"	"	11			26	34	23	10	37	23	57	10				
Ni	15	"	16	17	29			"	"	20	"	57	"	"	"				
Li																			
Fe/(Fe+Mg)						0,45	0,49			0,63		0,57				1,00	1,00	1,00	0,41
Mg/(Fe+Mg)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,55	0,51	1,00	1,00	0,37	1,00	0,43	1,00	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,59
K/Rb	102,60	44,92	72,01	68,62	44,43	92,55	132,57	37,02	35,86	67,20	105,64	83,74	247,09	59,19	161,62	41,29	84,23	48,72	47,94
K/Cs						8301,50	8550,55												1456,16
Rb/Cs						89,70	64,50												30,38
Al/Ga	127,28	116,61	113,20	114,64	113,40	186,48	191,95	109,15	111,11	128,05	124,28	180,31	202,61	173,30	141,73				190,33
Ba/Sr						0,89	2,93												0,74
Ba/Rb	0,07	0,87	0,01	0,06	0,04	0,02	0,08	0,05	0,04	0,11	0,14	0,49	3,23	0,08	0,45				0,01
Rb/Sr						51,85	35,64												101,26
K/Ba	1375,87	51,78	8417,72	1221,16	1081,35	5390,58	1613,31	726,20	806,43	622,28	734,86	172,16	76,51	727,98	356,37				6531,33

continua

continuação

amostra	5530M	5533M1	5533M2	5534M	5667Bio	5667M	5668M2	5670M	5670M2	5672B	5672M	5579B	5579M	5579M1	2211b	2264b	2265b	2266b	2294b
análise																			
pegmatito	Ipê	Ipê	Ipê	Ipê	Ferr II	Ferr II	Ferr II	Ferr II	Ferr II	Ferr II	Ferr II	Crioulo	Crioulo	Crioulo	Ferr I M	Ferr I M	Ferr I M	Ferr I M	Ferr I M
mineral	mus	mus	mus	mus	bio	mus	mus	mus	mus	bio	mus	bio	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus
SiO ₂	45,30	46,80	46,40	46,00	35,80	46,50	46,50	46,00	46,30	36,20	46,30	36,00	46,40	46,30	46,80	47,10	47,10	47,30	46,50
TiO ₂	0,27	0,17	0,14	0,29	1,78	0,30	0,10	<0,05	0,13	1,60	0,10	1,36	0,13	0,12	0,13	0,21	0,17	0,18	0,14
Al ₂ O ₃	34,30	35,00	35,10	34,10	19,10	34,70	34,80	34,80	34,90	19,70	34,30	19,90	34,80	34,60	34,40	34,40	34,60	34,00	35,50
Fe ₂ O ₃	1,04	1,13	1,43	1,32	7,05	0,92	1,18	1,07	1,52	1,16	2,20	0,00	0,75	0,74	1,50	1,70	1,50	1,40	1,20
Fe ₂ O _{3t}	2,46	2,42	2,36	2,23	23,10	2,01	2,67	2,25	2,21	23,50	3,22	24,70	2,31	2,48	2,47	2,18	2,14	2,04	2,32
FeO	1,28	1,16	0,84	0,82	14,44	0,98	1,34	1,06	0,62	20,10	0,92	0,00	1,40	1,56	0,87	0,43	0,58	0,58	1,01
FeOt																			
MnO	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,47	<0,05	0,16	0,23	<0,05	0,62	<0,05	0,53	<0,05	<0,05	0,06	0,03	0,03	0,03	0,03
MgO	0,97	0,86	0,99	1,06	5,99	1,17	0,68	0,21	0,84	6,07	0,73	5,12	0,90	0,90	0,38	0,72	0,44	0,58	0,54
CaO	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,11	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	<0,01
Na ₂ O	0,68	0,79	0,75	1,19	0,37	0,76	0,86	0,77	0,80	0,39	0,99	0,35	0,85	0,79	0,61	0,46	0,53	0,67	0,60
K ₂ O	10,70	10,50	10,60	10,90	8,92	10,60	10,20	10,00	10,10	9,52	10,30	9,63	10,20	10,40	9,50	9,70	9,80	10,00	9,70
P ₂ O ₅	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Li ₂ O	0,73	0,77	0,67	0,77	0,73	1,16	0,88	0,84	0,67	1,10	0,71	1,22	0,54	0,67	0,11	0,08	0,06	0,08	0,08
PF	4,70	4,10	3,91	3,80	3,81	4,20	4,36	5,00	4,41	1,81	4,23	1,80	4,30	4,31		4,55	5,11	4,69	4,44
Total	100,26	101,56	101,07	100,49	100,23	101,55	101,31	100,28	100,51	100,61	101,03	100,71	100,58	100,72	94,52	99,49	100,04	99,63	99,91
F															3780	2000	1900	2000	2460
Ba	58,5	10,7	13,9	63,9	800	102	<10	20,2	<10	140	215	54,2	14,2	<10					
Cs	173	15,6	45,1	275	<10	<10	28,9	1245	<10	23,2	<10	10,3	<10	<10	69	63	10	49	13
Ga	78,6	94,8	96,1	70,6	37,4	78,2	105	162	85,8	38,3	821	37,5	86,8	93,1					
Hf	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10					
Nb	166	272	297	200	293	211	332	31,3	317	332	236	466	393	384					
Pb	14,9	10,1	<10	14,5	29,8	17,67	8,7	<10	10,1	11,1	14,4	14,1	13,7	<10					
Rb	1753	1641	1580	1343	702	634	1918	8188	904	642	595	836	1029	1264	2010	920	780	880	870
Sr	18,6	16,2	16,6	18,4	17,3	18,7	17,3	25,4	17,5	14,2	21,7	15,1	17,4	16,8	13	10	<10	24	31
Y	<5	7,1	<5	<5	33,1	<5	8,1	20,5	6,7	11,9	<5	14,2	<5	<5					
Zr	7,4	6,8	8,9	8,7	<5	10,3	8,6	<5	10,2	<5	11,8	<5	10,4	9,1					
Zn																			
V																			
Ni																			
Li														511	372	279	372	372	490
Fe/(Fe+Mg)	0,43	0,43	0,32	0,30	0,57	0,32	0,52	0,74	0,29	0,65	0,41		0,47	0,49	0,56	0,25	0,42	0,36	0,51
Mg/(Fe+Mg)	0,57	0,57	0,68	0,70	0,43	0,68	0,48	0,26	0,71	0,35	0,59	1,00	0,53	0,51	0,44	0,75	0,58	0,64	0,49
K/Rb	50,67	53,12	55,69	67,38	105,48	138,79	44,15	10,14	92,75	123,10	143,71	95,63	82,29	68,30	39,24	87,53	104,30	94,34	92,56
K/Cs	513,45	5587,55	1951,13	329,04	7404,94	8799,59	2929,94	66,68	8384,52	3406,48	8550,55	7761,50	8467,53	8633,56	1142,96	1278,17	8135,47	1694,18	6194,20
Rb/Cs	10,13	105,19	35,03	4,88	70,20	63,40	66,37	6,58	90,40	27,67	59,50	81,17	102,90	126,40	29,13	14,60	78,00	17,96	66,92
Al/Ga	230,95	195,39	193,30	255,62	270,28	234,84	175,40	113,69	215,27	272,21	22,11	280,84	212,18	196,68					
Ba/Sr	3,15	0,66	0,84	3,47	46,24	5,45		0,80		9,86	9,91	3,59	0,82						
Ba/Rb	0,03	0,01	0,01	0,05	1,14	0,16				0,22	0,36	0,06	0,01						
Rb/Sr	94,25	101,30	95,18	72,99	40,58	33,90	110,87	322,36	51,66	45,21	27,42	55,36	59,14	75,24	154,62	92,00	78,00	36,67	28,06
K/Ba	1518,39	8146,33	6330,64	1416,06	92,56	862,70	8467,53	4109,65	8384,52	564,50	397,70	1474,97	5963,05	8633,56					

continua

continuação

amostra	2306c	2520b	2319B	2319E	2331B	2360B	2362B	2366B	2366C	2368B	31,10	31,12	31,19	31,21	31,5	31,9	2073B	2080A	5611M
análise																			
pegmatito	Ferri M	Ferri M	OGatoM	OGatoM	OGatoM	OGatoM	OGatoM	OGato M	OGato M	OGatoM	OGatoW	OGatoW	OGatoW	OGatoW	OGatoW	OGatoW	Boi M	Boi M	JLima II
mineral	mus	mus	mus	mus	mus	bio	mus	bio	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus
SiO ₂	45,60	45,90	47,00	46,30	45,20	36,10	46,20	35,70	46,00	45,70	44,92	44,43	44,66	45,15	45,11	44,45	46,60	45,10	46,30
TiO ₂											0,03	0,02	0,02	0,07	0,08	0,02			<0,05
Al ₂ O ₃	33,20	35,00	34,80	34,90	34,30	20,00	34,30	21,00	34,80	36,80	32,68	32,91	33,94	33,48	33,87	32,94	34,20	34,40	34,70
Fe ₂ O ₃	2,10	1,50	1,10	0,92	0,72	11,70	2,00	4,50	1,20	0,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	1,20	0,71
Fe ₂ O _{3t}	2,74	2,78	2,07	2,20	2,80	24,78	3,11	26,70	2,63	2,70	3,20	2,12	2,44	2,71	2,83	2,43	2,28	2,96	2,87
FeO	0,58	1,15	0,87	1,15	1,87	11,77	1,00	19,98	1,29	1,87							1,15	1,58	1,94
FeOt																			
MnO	0,03	0,03	0,18	0,20	0,40	0,31	0,13	0,39	0,00	0,05	0,30	0,47	0,25	0,06	0,05	0,37	0,03	0,06	0,33
MgO	0,57	0,61	0,33	0,43	0,41	3,10	0,12	3,70	1,00	0,41	0,05	0,02	0,07	0,42	0,57	0,04	0,64	0,28	0,24
CaO	<0,01	<0,01	<0,01	0,01	<0,01	0,18	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<0,02	<0,01	<0,05
Na ₂ O	0,55	0,61	0,64	0,51	0,64	0,32	0,60	0,13	0,61	0,63	0,57	0,56	0,70	0,63	0,65	0,57	0,92	0,54	0,72
K ₂ O	12,50	10,90	9,20	9,50	12,10	5,60	9,10	9,70	11,20	10,70	9,91	9,88	9,82	9,91	10,02	9,86	11,70	13,30	10,70
P ₂ O ₅	<0,05	<0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02			0,05
Li ₂ O	0,11	0,09	0,18	0,19	0,23	0,43	0,23	0,65	0,17	0,24							0,13	0,11	1,57
PF			0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,80	5,10	5,20	4,80	5,00	4,90	0,00	0,00	4,26
Total	95,36	95,98	94,41	94,24	96,09	90,82	93,80	97,99	96,42	97,24	96,48	95,54	97,13	97,25	98,20	95,60	96,52	96,76	101,84
F																			
Ba											105	150	114	91	71	154			<10
Cs	52	200	620	600	87	1000	260	430	48	120							43	360	205
Ga											237	258	249	186	165	264			129
Hf																			<10
Nb											232	88	112	432	491	128			168
Pb											362	561	587	403	85	1115			<10
Rb	1600	1850	1950	1760	1800	840	2790	1310	1050	1700	4267	6057	4218	1845	1431	5602	980	2400	3953
Sr	<5	<5	210	<5	<5	11	<5	<5	<5	<5							<5	<5	20,5
Y											26	58	39	21	15	52			11,3
Zr																			5,1
Zn											1026	2177	1171	356	213	1660			0
V											tr	11	21	10	18	16			0
Ni											91	125	87	44	34	115			0
Li	410	835	883	1091	2013	1071	3022	778	1136							595	517		
Fe/(Fe+Mg)	0,36	0,51	0,60	0,57	0,58	0,68	0,82	0,75	0,42	0,72							0,50	0,76	0,82
Mg/(Fe+Mg)	0,64	0,49	0,40	0,43	0,42	0,32	0,18	0,25	0,58	0,28	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,50	0,24	0,18
K/Rb	64,86	48,91	39,17	44,81	55,80	55,34	27,08	61,47	88,55	52,25	19,28	13,54	19,33	44,59	58,13	14,61	99,11	46,00	22,47
K/Cs	1995,55	452,43	123,18	131,44	1154,58	46,49	290,55	187,27	1937,02	740,22							2258,78	306,69	433,30
Rb/Cs	30,77	9,25	3,15	2,93	20,69	0,84	10,73	3,05	21,88	14,17							22,79	6,67	19,28
Al/Ga											72,98	67,51	72,14	95,26	108,64	66,03			142,36
Ba/Sr																			
Ba/Rb											0,02	0,02	0,03	0,05	0,05	0,03			
Rb/Sr	320,00	370,00	9,29	352,00	360,00	76,36	558,00	262,00	210,00	340,00							196,00	480,00	192,83
K/Ba											783,50	546,79	715,09	904,04	1171,56	531,51			8882,61

continua

continuação

amostra	5616M	149E	149H	277	5715B	5716B2	5716M1	5720M	5561M1	5664M1	5664M2	5562B	5562M1	5563M	5568M	5713M	5724M	5676M	5678M
análise																			
pegmatito	J.Lima II	J.Lima I M	J.Lima I M	J.Lima I M	J.Lima I	J.Lima I	J.Lima I	J.Lima I	Faz. Jap.	Gole. III	Gole. III	Gole. I	Gole. I	Gole. I	Gole. I	Gole. I	Gole. I	Escond.	Escond.
mineral	mus	mus	mus	mus	bio	bio	mus	mus	mus	mus	mus	bio	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus
SiO ₂	45,80	45,30	49,70	46,10	36,00	37,30	46,10	46,40		46,70	45,60	35,90	45,90	46,30	46,60	46,00	46,10		46,10
TiO ₂	<0,05				0,80	0,70	0,10	<0,05		<0,05	0,06	1,00	0,12	0,14	<0,05	0,1	<0,05		0,12
Al ₂ O ₃	34,60	34,70	29,20	35,50	20,50	21,70	34,50	33,50		34,80	33,90	20,30	34,40	34,90	35,20	34,60	33,40		34,20
Fe ₂ O ₃	0,45	0,84	0,10	0,90	2,46	0,00	0,70	0,98		0,56	1,43	13,89	0,60	0,41	1,13	0,34	0,60		0,37
Fe ₂ O _{3t}	2,61	2,60	0,26	2,50	26,80	25,10	2,90	3,80		2,40	3,45	26,20	2,36	2,21	2,46	2,10	4,40		2,81
FeO	1,94	1,58	0,14	1,44	21,90	0,00	1,98	2,54		1,66	1,82	11,08	1,58	1,62	1,20	1,58	3,42		2,20
FeOt																			
MnO	0,50	0,50	0,63	0,04	0,70	0,71	0,22	0,50		0,30	0,12	0,52	0,05	0,05	0,25	<0,05	0,21		0,11
MgO	0,20	0,01	0,01	0,61	3,14	2,23	0,39	0,21		0,20	0,65	4,07	0,85	0,87	0,22	0,88	0,30		0,55
CaO	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	<0,05		<0,05
Na ₂ O	0,78	0,52	0,32	0,69	0,46	0,42	0,74	0,63		0,71	0,76	0,40	0,75	0,79	0,75	0,78	0,71		0,71
K ₂ O	10,40	11,20	11,70	11,50	9,41	9,73	10,30	10,10		10,10	10,30	9,74	10,40	10,30	10,30	10,40	10,10		10,20
P ₂ O ₅	0,05				0,12	0,11	0,10	0,12		<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,05	0,05	0,05		<0,05
Li ₂ O	1,16	1,00	3,95	0,38	1,18	1,57	0,80	0,97		1,44	0,75	1,36	0,86	0,77	0,75	0,97	1,92		1,38
PF	4,32	0,00	0,00	0,00	1,72	1,81	4,50	4,30		4,52	4,31	1,72	4,30	4,30	4,25	4,40	4,43		4,41
Total	100,52	95,84	95,78	97,33	100,88	101,43	100,70	100,63		101,32	100,00	101,31	100,09	100,73	100,93	100,38	101,72		100,69
F																			
Ba	<10				30,4		<10	<10	15,2	20,9	<10	30,6	<10	<10		<10		<10	
Cs	356	610	2000	61	384		153	817	815	331	<10	78,2	<10	<10		10		65,3	
Ga	135				42,1		1336	128	150	138	111	40,5	88,6	83,4		84,6		92,6	
Hf	<10				<10		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10		<10		<10	
Nb	97,1				661		169	78,9	61,5	105	338	490	286	271		256		280	
Pb	<10				12,9		<10	<10	<10	8,34	10,07	11,4	<10	<10		17,7		<10	
Rb	4999	4500	6300	1200	1460		3336	5336	6598	6840	1989	961	948	885		837		2724	
Sr	21,4	<5	<5	<5	16,9		20	21,2	23,6	22,7	16,4	16,2	17,3	16,9		16,6		17	
Y	12,7				18,8		8,9	17,2	8,5	22,6	10,3	12,7	<5	<5		6,1		<5	
Zr	5,2				<5		7,3	<5	<5	<5	9,6	<5	11,4	10		8,8		7,9	
Zn	0																		
V	0																		
Ni	0																		
Li	4667	18334	1772																
Fe/(Fe+Mg)	0,84	0,99	0,88	0,57	0,80		0,74	0,87		0,82	0,61	0,60	0,51	0,51	0,75	0,50	0,86		0,69
Mg/(Fe+Mg)	0,16	0,01	0,12	0,43	0,20	1,00	0,26	0,13		0,18	0,39	0,40	0,49	0,49	0,25	0,50	0,14		0,31
K/Rb	17,27	20,66	15,42	79,56	53,50		25,63	15,71		12,26	42,99	84,14	91,07	96,62		103,15			
K/Cs	242,52	152,42	48,56	1565,04	203,43		558,86	102,63		253,31	8550,55	1033,97	8633,56	8550,55		8633,56			
Rb/Cs	14,04	7,38	3,15	19,67	3,80		21,80	6,53	8,10	20,66	198,90	12,29	94,80	88,50		83,70		41,72	
Al/Ga	135,64				257,70		13,67	138,51		133,46	161,63	265,27	205,48	221,46		216,45		0,00	
Ba/Sr					1,80				0,64	0,92		1,89							
Ba/Rb					0,02							0,03							
Rb/Sr	233,60	900,00	1260,00	240,00	86,39		166,80	251,70	279,58	301,32	121,28	59,32	54,80	52,37		50,42		160,24	
K/Ba	8633,56				2569,64		8550,55	8384,52		4011,73	8550,55	2642,37	8633,56	8550,55		8633,56			

continua

continuação

amostra	5683M	5692M	5662M	5663M1	5663M2	5654M	5657M	5641M	5644M	56522	5646M	5651M2	5666M	5636M	5637M	5659M1	5659M2	5660M	5735.1
análise																			23
pegmatito	Escond.	Escond.	Urbano	Urbano	Urbano	Toninho	Ferrinho	Alberto	Rames	Rames	J.Pereira	J.Pereira	J.Pereira	Marcial	Marcial	Doca H	Doca H	Doca H	granito
mineral	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	mus	bio
SiO ₂	46,30	46,00	45,80	46,40	46,40	45,90	45,50	46,10	45,90	0,00	46,40	45,50	46,10	45,90	45,90	45,70	45,30	45,30	33,80
TiO ₂	<0,05	0,12	0,20	0,34	0,14	0,05	0,09	<0,05	0,05	0,00	<0,05	<0,05	0,07	<0,05	<0,05	0,08	0,06	0,15	3,58
Al ₂ O ₃	35,50	35,70	34,40	34,90	34,90	35,00	34,40	36,00	34,60	0,00	35,60	36,00	34,40	34,20	35,30	33,10	32,70	32,50	16,60
Fe ₂ O ₃	0,69	0,29	0,94	0,12	0,97	1,47	3,10	1,03	2,10	0,00	1,13	1,08	2,70	2,40	1,75	4,09	4,04	3,79	
Fe ₂ O _{3t}	2,13	2,00	2,23	1,90	2,24	2,83	4,46	2,07	3,50	0,00	1,95	1,86	3,50	4,04	3,02	5,00	5,13	4,90	
FeO	1,30	1,54	1,16	1,60	1,14	1,22	1,22	0,94	1,26	0,00	0,74	0,70	0,72	1,48	1,14	0,82	0,98	1,00	
FeOt																			29,31
MnO	0,21	0,22	<0,05	<0,05	<0,05	0,22	0,05	0,18	0,26	0,00	0,19	0,21	0,13	0,15	0,12	0,05	0,10	0,12	0,37
MgO	0,35	0,21	0,95	1,14	0,94	0,30	0,55	0,21	0,29	0,00	0,30	0,20	0,62	0,24	0,22	0,68	0,60	0,74	2,92
CaO	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	<0,05	<0,05	0,00	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,00
Na ₂ O	0,75	0,72	0,76	0,75	0,77	0,69	0,73	0,79	0,66	0,00	0,51	0,81	0,77	0,67	0,70	0,77	0,79	0,77	0,06
K ₂ O	10,20	10,30	10,50	10,70	10,30	10,20	10,20	10,50	10,50	0,00	10,90	10,10	10,40	10,40	10,20	10,20	10,10	10,40	9,61
P ₂ O ₅	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0,05	0,06	0,06	0,00	<0,05	<0,05	<0,05	0,06	0,07	<0,05	<0,05	<0,05	
Li ₂ O	1,16	1,10	0,77	0,75	0,77	1,01	0,71	1,05	0,80	0,00	0,80	0,99	0,73	0,86	0,71	0,71	0,82	0,77	
PF	4,22	4,40	4,33	4,10	4,31	4,55	4,30	4,33	4,40	0,00	4,41	4,40	4,30	4,20	4,20	4,20	4,42	4,30	
Total	100,97	100,87	100,09	101,13	100,92	100,85	101,09	101,39	101,07	0,00	101,21	100,22	101,12	100,82	100,54	100,59	100,12	100,05	66,94
F																			
Ba		<10	36,6	<10	28,1	17	16,4	13,2	25,8	15,9	21,6		<10	<10	13,8	14,2	<10	<10	
Cs		174	<10	47,6	44,9	255	53,1	638	805	862	766		52,6	376	587	33,1	<10	<10	
Ga		119	74,6	103	85,7	117	81,6	130	82,9	133	75,6		104	98,4	110	79,1	86,5	78,7	
Hf		<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10		<10	<10	<10	<10	<10	<10	
Nb		140	177	328	238	188	370	110	152	106	27,7		370	237	165	366	442	345	
Pb		<10	<10	11,8	<10	<10	13,1	<10	<10	<10	10,7		<10	<10	<10	<10	<10	<10	
Rb		5535	672	1694	1125	5260	1379	5689	3352	7078	3723		2496	3787	5188	1509	1832	1422	
Sr		21,6	18,2	17,7	18,7	21,1	16,5	22,2	19,3	24,9	20,5		18,8	20,8	22,5	16,6	17,9	15,3	
Y		11,1	5,6	<5	5,5	21,2	7,1	5,1	7,1	8,8	8,8		19,2	15,8	13,7	6,0	8,5	6,5	
Zr		6,6	10,1	11,7	8,3	<5	6,8	<5	5,9	6,1	<5		12,1	5,2	<5	8,6	7,4	8,4	
Zn																			
V																			
Ni																			
Li																			
Fe/(Fe+Mg)	0,68	0,81	0,41	0,44	0,40	0,70	0,55	0,72	0,71		0,58	0,66	0,39	0,78	0,75	0,40	0,48	0,43	
Mg/(Fe+Mg)	0,32	0,19	0,59	0,56	0,60	0,30	0,45	0,28	0,29		0,42	0,34	0,61	0,22	0,25	0,60	0,52	0,57	
K/Rb		15,45	129,71	52,44	76,00	16,10	61,40	15,32	26,00		24,30		34,59	22,80	16,32	56,11	45,77	60,71	
K/Cs		491,41	8716,58	1866,09	1904,35	332,06	1594,64	136,62	108,28		118,13		1641,36	229,62	144,25	2558,17	8384,52	8633,56	
Rb/Cs		31,81	67,20	35,59	25,06	20,63	25,97	8,92	4,16	8,21	4,86		47,45	10,07	8,84	45,59	183,20	142,20	
Al/Ga		158,77	244,04	179,32	215,52	158,32	223,11	146,56	220,88		249,21		175,05	183,94	169,83	221,46	200,07	218,55	
Ba/Sr			2,01		1,50	0,81	0,99	0,59	1,34	0,64	1,05				0,61	0,86	0,01	0,01	
Ba/Rb			0,05		0,02		0,01		0,01		0,01				0,00	0,01	0,01	0,01	
Rb/Sr		256,25	36,92	95,71	60,16	249,29	83,58	256,26	173,68	284,26	181,61		132,77	182,07	230,58	90,90	102,35	92,94	
K/Ba		8550,55	2381,58	8882,61	3042,90	4980,90	5163,13	6603,47	3378,52		4189,18		8633,56	8633,56	6135,89	5963,05	8384,52	8633,56	

continua

continuação

amostra	5735.2	5735.3	5736.1	5736.2	5736.3	5736.4	5736.5	5737.1	5737.2	5737.3	5737.4	5737.5	5738.1	5738.2	5738.3	5739.1	5739.1	5739.2	5739.3
análise	24	26	31	32	33	34	65	4	5	6	8	9	68	69	73	11	45	12	13
pegmatito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito
mineral	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio
SiO ₂	34,53	34,12	33,36	33,41	34,55	32,81	33,64	34,25	34,66	34,17	33,67	34,00	33,99	34,52	34,05	33,96	34,16	33,74	33,83
TiO ₂	3,65	3,39	3,35	3,45	3,40	3,24	3,69	3,33	3,63	3,42	4,06	3,23	3,03	3,29	3,04	3,42	3,40	3,58	3,59
Al ₂ O ₃	17,09	16,68	16,01	15,59	16,03	16,04	16,22	16,16	16,24	16,28	16,39	16,60	16,62	16,38	16,39	16,13	15,88	15,86	16,11
Fe ₂ O ₃																			
Fe ₂ O _{3t}																			
FeO																			
FeOt	29,11	28,85	28,09	27,95	27,91	28,32	27,86	29,79	29,85	30,23	29,74	30,59	29,62	29,14	29,25	30,52	28,77	31,02	30,36
MnO	0,41	0,44	0,25	0,27	0,18	0,19	0,20	0,32	0,33	0,27	0,24	0,20	0,29	0,25	0,27	0,31	0,29	0,30	0,26
MgO	2,88	3,00	2,89	2,92	2,66	2,64	2,91	2,90	2,99	2,88	2,90	2,87	3,19	3,27	3,10	2,95	3,15	2,99	2,94
CaO	0,00	0,01	0,00	0,08	0,01	0,00	0,05	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,06	0,03	0,05
Na ₂ O	0,05	0,04	0,04	0,06	0,07	0,08	0,06	0,04	0,08	0,09	0,07	0,07	0,03	0,08	0,07	0,04	0,06	0,05	0,05
K ₂ O	9,40	9,64	9,33	9,27	9,26	9,44	9,36	9,78	9,43	9,16	9,72	9,65	9,59	9,40	9,67	9,39	9,64	9,47	9,43
P ₂ O ₅																			
Li ₂ O																			
PF																			
Total	68,01	67,32	65,23	65,05	66,16	64,44	66,13	66,79	67,38	66,27	67,05	66,62	66,74	67,19	66,59	66,21	66,64	66,02	66,26
F																			
Ba																			
Cs																			
Ga																			
Hf																			
Nb																			
Pb																			
Rb																			
Sr																			
Y																			
Zr																			
Zn																			
V																			
Ni																			
Li																			
Fe/(Fe+Mg)																			
Mg/(Fe+Mg)																			
K/Rb																			
K/Cs																			
Rb/Cs																			
Al/Ga																			
Ba/Sr																			
Ba/Rb																			
Rb/Sr																			
K/Ba																			

continua

continuação									
amostra	5739.4	5739.5	5739.6	5739.7	5739.8	5739.9	5740.1	5740.2	5740.3
análise	18	38	39	41	43	44	52	53	56
pegmatito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito	granito
mineral	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio	bio
SiO ₂	34,44	34,47	34,19	34,32	34,29	34,13	34,03	33,82	34,00
TiO ₂	4,01	3,32	3,32	3,38	2,65	3,41	5,08	4,97	4,82
Al ₂ O ₃	16,27	16,64	16,38	16,16	16,38	16,14	13,56	13,30	13,71
Fe ₂ O ₃									
Fe ₂ O ₃ t									
FeO									
FeOt	30,11	30,10	30,01	29,98	29,96	30,08	33,07	32,28	33,34
MnO	0,24	0,18	0,19	0,29	0,26	0,21	0,18	0,15	0,20
MgO	2,99	3,07	3,03	2,98	3,22	3,27	2,48	2,46	2,59
CaO	0,07	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,05	0,03	0,04
Na ₂ O	0,00	0,02	0,01	0,09	0,06	0,10	0,05	0,05	0,00
K ₂ O	9,29	9,76	9,81	9,44	9,44	9,43	9,12	9,15	9,07
P ₂ O ₅									
Li ₂ O									
PF									
Total	67,31	67,46	66,93	66,68	66,30	66,69	64,55	63,93	64,43
F									
Ba									
Cs									
Ga									
Hf									
Nb									
Pb									
Rb									
Sr									
Y									
Zr									
Zn									
V									
Ni									
Li									
Fe/(Fe+Mg)									
Mg/(Fe+Mg)									
K/Rb									
K/Cs									
Rb/Cs									
Al/Ga									
Ba/Sr									
Ba/Rb									
Rb/Sr									
K/Ba

Figura 27 - Relação $K(\%) \times Rb(ppm)$ das micas de alguns dos pegmatitos do Campo de Marilac. A linha cheia, com valor 230, representa o valor médio que a razão K/Rb toma para diversas formações geológicas e meteoríticas, segundo Ahrens et al. (1952).

Tabela 29 - Algumas razões geoquímicas de muscovita pertencentes a vários pegmatitos comparadas com os valores obtidos para os pegmatitos do Campo de Marilac.

Tipos de Pegmatitos Razões	Muscovita do Campo de Marilac	Muscovita de Pegmatitos a mica	Tipo feldspato potássico-muscovita	Muscovita tardia	Muscovita potássico	Muscovita Pegmatito radioativo	Muscovita sodolítico
K/Rb	247,09 - 10,14	279,66	20,63	108,63	39 - 10	104 - 28	27 - 6
K/Cs	8.799,60 - 46,50	41.950	784	167,12	1.644 - 89	863 - 214	1.561 - 25
Rb/Cs	198,90 - 0,84	150	-	1,54	45 - 10	16 - 3	81 - 2
Li/Cs	29,1 - 1,4	25	8,8	0,077	18 - 2	10 - 1	27 - 1
Nome do Pegmatito	Ferreirinha, Boi, Jonas Lima I, Ipê, Córrego Alto, Olho-de-Gato.	Malino-vaya, Varaka.	USSR - porção européia.	Lopatova, Guba.	Igaro, Namalalo.	Boa Esperança e Namata-canua.	Nuaparra, Maridge, Naipa, Melela, Carapira, Morrua, Maoloua.
Autor(es)	este trabalho	Gordienko <i>et al.</i> (1976) in Hawthorne & Cerný (1982)			Lopes Nunes (1973)		

Os dados analíticos de micas de Wegner (1983a) e de Marciano (1985) foram retrabalhados, juntamente com os dados do atual trabalho, com base na publicação síntese da *Mineralogical Society of America* sobre micas, publicada em 1984.

Baseando-se no trabalho de Cerný & Burt (1984) e utilizando-se as relações K/Rb x Ba obtidas de dados analíticos de fluorescência de raios X e absorção atômica, 60% dos corpos foram classificados como do tipo berilo-columbita, ocorrendo ainda alguns da classe muscovita e outros do tipo lepidolita (Figuras 28). A área ocupada pelos pontos referentes às amostras de Wegner (1983a) e Achtschin *et al.* (1996), reinterpretadas nesta Tese, no gráfico K/Rb x Ba corresponde, principalmente, aos campos do tipo berilo-columbita e do tipo muscovita de Cerný & Burt (1984). Alguns pontos caíram fora dos campos já citados. Esta falta de correspondência pode ser devida ao número restrito de análises mencionado pelos autores do gráfico, devendo ocorrer uma reconstituição do mesmo com modificação nas áreas específicas (Figura 28), pois segundo os mesmos autores há uma continuidade entre os campos devido ao processo de fracionamento magmático.

Utilizando-se as razões K/Rb x Li, mais de 60% dos corpos são identificados como muscovíticos ou muscovíticos complexos (Figura 29). A utilização do diagrama K/Rb x Li veio ratificar a classificação dos pegmatitos como do tipo muscovítico e muscovítico complexo das classes a muscovita e a elementos raros, respectivamente, segundo o trabalho de Cerný & Burt (1984).

Figura 28 - Relação entre a razão K/Rb e a quantidade em Ba das micas das lavras do Campo de Marilac, comparada com valores de vários autores, extraídos de Cerný & Burt (1984). As paragêneses minerais das amostras do Campo de Marilac indicam uma transição para os tipos berilo-ferrocolumbita e muscovítico.

Figura 29 - Distribuição dos dados de muscovita, publicados por vários autores, no gráfico que relaciona K/Rb com o teor em Li, simplificado de Cerný & Burt (1984). Os dados relativos à muscovita do Campo Pegmatítico de Marilac (CPM) mostram uma dispersão entre aqueles classificados por outros autores. Apesar de algumas amostras caírem no campo de pegmatitos do tipo complexo a lepidolita, isto não reflete a realidade, na verdade o campo dos pegmatitos complexos a muscovita deve ser ampliado.

Para a razão K/Rb x Ti os pontos caem em áreas semelhantes àquelas ocupadas por pegmatitos dos tipos berilo-ferrocolumbita e potássico de Lopes Nunes (1973) e de Marciano (1995) (Figura 30). Cerný & Burt (1984) não apresentam nenhum diagrama relacionando estes elementos. Os corpos analisados, neste trabalho, constituem um grupo de transição entre os indicados pelos autores anteriormente citados (Gandini *et al.* 1998b). A razão K/Rb x Ti das amostras de Wegner (1983a) e parte das amostras de Marciano (1985), demonstraram a carência de dados analíticos para a muscovita de pegmatíticos da classe a muscovita (Marciano *et al.* 1992a e b, Marciano 1995). A área ocupada pelos pontos representativos dos pegmatitos de Governador Valadares, Campo de Marilac, correspondem às áreas dos pegmatitos potássicos e radioativos de Lopes Nunes (1973), sendo características de pegmatitos com razão K/Rb elevada e também alto teor em titânio (Figura 30). Os dados obtidos nesta Tese corroboram os dados de Marciano (1995).

Figura 30 - Relação entre a razão K/Rb e a quantidade em Ti das micas das lavras do Campo de Marilac, comparada com dados de Lopes Nunes (1973) e Marciano (1995). Os campos tipo radioativo e potássico são de Lopes Nunes (1973). Neste diagrama, também é possível observar uma diferenciação dos vários pegmatitos segundo a direção SW-NE.

O diagrama da Figura 31, da mesma maneira que o seu correspondente para feldspatos potássicos, exibe uma maior diferenciação dos pegmatitos da Lavra do Jonas Lima I e do Olho-de-Gato, contra um grau de diferenciação mais baixo para a lavra do Ipê. A maioria dos pontos se localiza abaixo de 100 para a razão K/Rb com valores de até 8.188ppm de Rb.

A Figura 32 mostra a evolução durante a cristalização da muscovita de diferentes zonas por pegmatito, e ainda apresenta dados das biotitas do Pegmatito do Ipê, que por serem em número reduzido não estão sendo tratadas em separado.

A Fotografia 7 exibe as seções das placas de biotita presentes na zona mural do Pegmatito do Ipê. A Fotografia 8 é um detalhe da anterior, onde pode-se observar melhor os cristais métricos de biotita.

Quanto às biotitas, estas foram lançadas num diagrama $MgO \times TiO_2$ (Figura 33), onde estão presentes dois campos distintos. O primeiro, quase horizontal, pertence às biotitas dos granitos e o outro *trend* às dos pegmatitos. Também utilizou-se um diagrama ternário de micas de pegmatitos de Cerný & Burt (1984) (Figura 34), flogopita / muscovita / anita para as micas da região estudada. Pelo diagrama nota-se uma diferenciação das micas do Campo de Marilac.

Outra técnica utilizada na investigação química das micas foi por espectroscopia de absorção no infravermelho. A H_2O , o CO_2 e o CH_4 são os constituintes fluidos destas micas detectados por esta técnica. Ainda por meio desta última metodologia, foi identificado, em algumas amostras de duas lavras, Boi e Ferreirinha I, o pico $1.395cm^{-1}$, indicativo de boro em coordenação tetraédrica, em substituição ao silício (Marciano 1985, Marciano & Correia Neves 1987). As Figuras 35 e 36 mostram os diagramas de espectroscopia de absorção de infravermelho de micas de vários pegmatitos do Campo de Marilac.

Fotografia 7 - Cristais de biotita que ocorrem na zona mural do Pegmatito do Ipê. Observa-se em uma das aberturas de entrada do corpo pegmatítico uma pessoa que serve como referência.

Fotografia 8 – Detalhe da fotografia anterior, onde pode-se observar melhor cristais de, aproximadamente, 2m de comprimento de biotita dispostos perpendicularmente ao contato do pegmatito com a rocha encaixante, biotita xisto.

Figura 31 - Relação entre a razão K/Rb e a quantidade em Rb nas micas das lavras do Campo de Marilac.

Figura 32 - Relação semelhante a da Figura 31 (K/Rb x Rb) evidenciando uma evolução durante a cristalização da muscovita de diferentes zonas por pegmatito.

Figura 33 - Distribuição das biotitas no granito e nos pegmatitos. A - Ipê e B - Jonas Lima I. Os símbolos do granito e do Ipê são os mesmos, mas caem em área distintas.

Figura 34 - Distribuição das micas do granito e dos pegmatitos. Os campos representam: 1 - muscovita e 2 - biotita de pegmatitos a elementos raros; 3 - muscovita e 4 - biotita de pegmatitos da classe muscovíticos; 5 - exocontato de flogopita com mármore; 6 - encaixantes ultramáficas e 7 - micas ferromagnesianas de pegmatitos em exocontato com anfíbolitos. Flo - flogopita, mus - muscovita e ani - anita..

Figura 35 – Diagramas de espectroscopia de absorção de infravermelho de micas na faixa de 1.200 a 600 cm^{-1} . Os espectros mais lineares mostraram problemas de leitura

Figura 36 – Diagramas de espectroscopia de absorção de infravermelho de micas na faixa de 1.200 a 600cm^{-1} . Os espectros mais lineares mostraram problemas de leitura

6.2 - POTENCIALIDADE ECONÔMICA

Apesar de ter importantes reservas, o Brasil produziu em 1995 apenas 9.200 toneladas, (US\$300.00/t), de mica bruta, o que representa 3% da produção mundial (Netto *et al.* 1999).

Os pegmatitos mais antigos da área de estudo em exploração de mica são os do Ipê e da Golconda III. Ambos vêm sendo lavrados desde 1940, época em que produziram grandes quantidades de micas, mineral estratégico para a II Guerra Mundial (Pecora *et al.* 1950a e b). Desde o fim do conflito, a produção vem caindo drasticamente, sendo que hoje está quase paralisada. Em muitos pegmatitos, como o do Ferreirinha I, existem grandes quantidades amontoadas de muscovita a espera de compradores. A mica com teores elevados de lítio não apresentam interesse econômico por ocorrer em pequenas quantidades.

7 - O BERILO

O berilo já era usado como gema pelos egípcios e outros povos da Antigüidade. O termo provém do latim *beryllus* em alusão a cor verde clara mais freqüente. As primeiras informações mineralógicas foram apresentadas por Rorné de Lisle em 1772 e posteriormente por Haüy em 1801 (Sinkankas 1981). Haüy (*op cit*) descreveu variações de formas exibidas por cristais de berilo, e pela primeira vez utilizou um conjunto de letras para distinguir cada uma das formas cristalográficas, prática adotada depois por outros mineralogistas e que persiste até hoje.

O berilo é o mais abundante dos minerais de berílio, podendo conter até 5,1% deste elemento, sendo portanto sua principal fonte (Milovsky & Kononov 1985). Este metal leve possui um emprego diversificado na indústria incluindo ligas, geralmente com cobre; em reatores nucleares; aviação; nas janelas dos tubos de raios X; na indústria farmacêutica (sal de berílio); em molas, sendo que um e meio por cento de berílio em liga com cobre aumenta consideravelmente a dureza, a força de tensão e a resistência à fadiga. Também é um dos mais importantes minerais-gemas conhecidos (Betekhtin sd, Dana & Hurlbut Jr. 1976, Leprevost 1978, Branco 1984b).

O tamanho dos cristais de berilo é muito variável indo desde milímetros até cristais gigantescos. Cristais muito grandes, normalmente são de qualidade industrial. A literatura registra alguns exemplos dessas raridades: Roberts *et al.* (1974) cita um berilo de 5,49m de comprimento por 1,83m de largura pesando 100 toneladas; outro com 5m de comprimento por 1,5m de largura com 16 toneladas (Betekhtin sd) e um terceiro com 25 toneladas e 9m de comprimento (Dana & Hurlbut Jr. 1976).

7.1 - CRISTALOGRAFIA

Desde o século passado, vários pesquisadores, entre eles Haüy, já sabiam que o berilo pertencia ao sistema cristalino hexagonal. No entanto, a disposição dos átomos na estrutura

interna desse mineral só se tornou conhecida no início deste século, com os trabalhos de Bragg & West (1926, *in* Sinkankas 1981). Para esses autores, o berilo apresenta a mais completa simetria do sistema hexagonal, ou seja, bipiramidal-dihexagonal, pertencendo à classe 6mmm e ao grupo espacial P6/mcc.

Quanto ao hábito, este pode ser prismático, curto ou longo, ou tabular. É comum o berilo apresentar-se em cristais individuais, euédricos, e raramente em agregados. Em geral, predominam as faces do prisma ($10\bar{1}0$) e do pinacóide (0001). Menos comuns são as faces das bipirâmides ($11\bar{2}1$) e ($10\bar{1}1$) e do prisma dihexagonal ($11\bar{2}0$) (Olsacher 1946). As faces do(s) prisma(s), normalmente, são estriadas verticalmente. Todas as formas simples encontradas nos cristais de berilo estão representadas na Tabela 30.

Tabela 30 - Formas cristalográficas simples de berilo segundo Sinkankas (1981).

nome	símbolo	nº de faces	obs.
pinacóide basal	{0001}	2	muito comum
prisma de 1ª ordem	{ $10\bar{1}0$ }	6	forma mais comum
prisma de 2ª ordem	{ $11\bar{2}0$ }	6	incomum
prisma dihexagonal	{hki0}	12	incomum
bipirâmide de 1ª ordem	{ $h0\bar{h}1$ }	12	comum
bipirâmide de 2ª ordem	{ $hh\bar{2}h1$ }	12	comum
bipirâmide dihexagonal	{hkil}	24	incomum a rara

As geminações são raras no berilo, mas quando ocorrem se dão segundo os planos ($31\bar{4}1$), ($11\bar{2}0$) e ($40\bar{4}1$)(?) (Deer *et al.* 1981).

Os cristais de berilo amostrados no Campo de Marilac para análises morfológicas, são na maior parte anédricos. Alguns são subédricos (Fotografias 9 e 10) exibindo hábito prismático hexagonal, às vezes, terminado por pinacóides. Quanto às dimensões, estes cristais apresentam desde 3 a 5cm de comprimento até dimensões métricas. No Pegmatito do Ferreirinha I foram encontrados prismas de mais de 2m de comprimento por 1m de diâmetro.

Fotografia 9 - Vista de seções basais hexagonais de dois cristais de berilo azulados pertencentes a zona gráfica grosseira do Pegmatito Ipê.

Fotografia 10 - Grupo de minerais do Pegmatito da Golconda. Duas amostras de berilo, duas de quartzo recoberto com óxido de ferro e uma cleavelandita. Os cristais de berilo são subédricos.

7.1.1 - PARÂMETROS DE CELA UNITÁRIA

As constantes principais da cela unitária, de acordo com Deer *et al.* (1992) são $a_0 = 9,21\text{\AA}$, $c_0 = 9,20\text{\AA}$ e $Z = 2$. O parâmetro a_0 da malha unitária aumenta com a entrada de outros elementos químicos na estrutura do berilo, enquanto o parâmetro c_0 permanece razoavelmente constante (Schaller *et al.* 1962).

A substituição parcial ou total de Be por Li, segundo Bakakin *et al.* (1967, in Sinkankas 1981) é seguida por um crescimento do parâmetro c_0 , enquanto o valor de a_0 aumenta muito pouco. Quando o Al é substituído por Li na estrutura do berilo, há um acréscimo do parâmetro a_0 , no caso do Be permanecer constante.

Outra idéia é de Sosedko (1957, in Correia Neves *et al.* 1984), que sugeriu um aumento no parâmetro c_0 provocado pela presença de álcalis, enquanto nesta circunstância, o valor de a_0 permanece quase constante. Assim sendo, não há consenso entre os pesquisadores a respeito da variação dos parâmetros a_0 e c_0 com o tipo de impureza presente na estrutura do berilo. Observa-se que há necessidade de mais dados para se chegar a uma definição.

No caso de exemplos brasileiros, considerando o berilo de Itambé (BA), com certas concentrações de Fe+Mg+Mn ou simplesmente o Fe, seriam suficientes para aumentar o parâmetro a_0 , segundo Sampaio Filho *et al.* (1973). Outros pesquisadores a estudar berilo da Província Pegmatítica Oriental, foram Correia Neves *et al.* (1984). Para esses autores, tanto o parâmetro a_0 como o c_0 , variam com a substituição octaédrica do Al por Fe e Mg. Teores mais elevados de Fe_2O_3 e MgO , e valores baixos de Cs_2O , apresentam valores maiores de c_0 . Para alguns berilos, estudados por Gandini *et al.* (1997b), Gandini & César-Mendes (1998) e César-Mendes *et al.* (1998), das lavras de Itajobi (Pancas, ES), de Vila de Água-Marinha ou Juerena (Teixeira de Freitas, BA), do Jaquetô (Medeiros Neto, BA), do Cruzeiro (São José da Safira, MG) (César-Mendes 1995), da Morganita (Conselheiro Pena, MG), Vala Grande (Resplendor, MG), do Piano (Divino das Laranjeiras, MG) e do Morro Escuro, Ponte da Raiz e Cedro (Santa Maria de Itabira, MG), todas localizadas na Província Pegmatítica Oriental, não mostram a mesma correlação de Sampaio Filho *et al.* (1973). Até o presente momento, esta tendência parece estar se confirmando com os berilos do Campo de Marilac (Gandini *et al.* 1998d).

7.1.2 - CRISTALOQUÍMICA

Embora o berilo seja representado pela fórmula geral $\text{Be}_3\text{Al}_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$, com valores aproximados de $\text{BeO} = 14,0\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 19,0\%$ e $\text{SiO}_2 = 67,0\%$, análises químicas detalhadas mostram que é comum a presença de H_2O e álcalis (Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+) que em certas variedades podem atingir cerca de 5 a 8% em peso (Deer *et al.* 1986). Além desses componentes, o berilo contém normalmente impurezas de Fe, Mg, Mn, Ti, Cr, V, Ca, P, Ba, Zr, Sr, Sc, Zn entre outros (Beus 1966, Correia Neves *et al.* 1984).

Através de estudos das várias substituições isomórficas na estrutura do berilo, normalmente ligadas aos elementos alcalinos, Feklichev (1963), propôs uma fórmula mais geral com íons mono e bivalentes, ou seja:

$$\text{onde: } \text{R}^+ = \text{Cs, Li, Rb, Na, K}$$

$$\text{R}^{2+} = \text{Ca, Ba, Sr}$$

$$n = 0 \text{ a } 1$$

A característica principal do berilo, consiste na presença dos anéis hexagonais compostos por seis tetraedros de Si-O, formando um aspecto de favo com canaliculos contínuos e ocos paralelos ao eixo cristalográfico *c* do cristal (Figura 37). No interior dos anéis de cada grupo SiO_4 , dois dos átomos de oxigênio são compartilhados por dois outros grupos de SiO_4 adjacentes, de modo que o radical dos anéis seja representado por $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]^{12-}$, com uma relação Si:O de 1:3. Os átomos de Al^{3+} e Be^{2+} posicionam-se, alternadamente, entre os anéis, sendo cada Al^{3+} coordenado por um grupo octaédrico de seis átomos de oxigênio $[\text{AlO}_6]^{9-}$, e cada Be^{2+} rodeado por quatro átomos de oxigênio $[\text{BeO}_4]^{6-}$, com a forma de um tetraedro distorcido. Os oxigênios dos anéis $[\text{Si}_6\text{O}_{18}]$ vizinhos, se unem tanto lateral como verticalmente pelo Al^{3+} e Be^{2+} (Deer *et al.* 1981).

Na estrutura do berilo, também podem estar presentes os elementos menores e traços substituindo os cátions Si^{4+} , Al^{3+} e Be^{2+} ou ocupando posições dentro dos canais ocos.

Os cátions presentes na estrutura do berilo podem ser reunidos em três grupos segundo Bakakin & Belov (1962): a) grupo catiônico I - "Si" com coeficiente de grupo igual a 6. Este

coeficiente é o número total de íons no grupo; b) grupo catiônico II - “Al” cujo coeficiente de grupo é igual a 2 e, c) grupo catiônico III - “Be” sendo seu coeficiente de grupo 3. Desta maneira, a fórmula estrutural deste mineral é derivada conforme os procedimentos descritos a seguir.

O grupo I (“Si”) é formado primeiro. O número de cátions neste grupo é 6, sendo o “Si” o cátion mais importante, com número de coordenação (NC) igual a 4. Se o número de átomos de Si^{4+} for insuficiente, o grupo é completado pelos cátions dos grupos II e III em excesso. Se a deficiência ainda perdurar, ela é preenchida com o Al^{3+} das posições octaédricas. Caso faltem cátions octaédricos, o Be^{2+} completa esta deficiência. Em resumo, a falta de Si, é facilmente compensada pelo Al e Be. No caso de existirem cátions de Si em excesso, ficando o coeficiente do grupo > 6 , estes são transferidos diretamente para o grupo III, ou seja, ocupando os tetraedros $[\text{BeO}_4]^{6-}$.

No grupo II (“Al”), cujo coeficiente de grupo é 2, o cátion principal é o Al^{3+} com $\text{NC} = 6$. Os cátions coordenados octaédricamente (Fe^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Sc^{3+}) são colocados, primeiramente neste grupo. Só então o coeficiente de grupo é levado até 2 pelo Al, pois parte dos íons Al^{3+} já foram usados para completar o grupo I. Os íons Li^+ são usados caso faltarem íons para se chegar ao coeficiente do grupo, podendo haver o coeficiente de vacâncias. Caso haja em excesso, este é transferido para o grupo III.

O grupo III (“Be”), com coeficiente de grupo 3, é o menos exigente. É comum no berilo haver uma deficiência em Be, que pode ser compensada por vários tipos de cátions, que mesmo assim podem ter coeficiente de grupo menor que 3. A deficiência é primeiro preenchida com os cátions em excesso dos grupos I (“Si”) e II (“Al”), e depois pelo Li^+ . Desta forma, todos os lugares na estrutura do berilo estão ocupados, quando o grupo III estiver completo, ou seja, quando tiver três cátions. Assim sendo, calcula-se a deficiência de carga em cada um dos grupos causadas por soluções sólidas heterovalentes e as possíveis vacâncias nos grupos II e III.

Resumidamente, podemos identificar as possíveis posições dos diversos cátions na estrutura do berilo, seguindo os procedimentos de Bakakin & Belov (1962).

Si^{4+} - em tetraedros $[\text{SiO}_4]^{4-}$. Se estiver em excesso, pode também substituir o Be no tetraedro $[\text{BeO}_4]^{6-}$;

Al³⁺ - em octaedros [AlO₆]⁹⁻. No caso de excesso, pelo seu caráter anfótero, entra nos tetraedros, substituindo Si e Be;

Be²⁺ - em tetraedros [BeO₄]⁶⁻ ou junto com o Si nos tetraedros [SiO₄]⁴⁻. Caso haja falta de Si e Al, acontece, preferencialmente, uma substituição do Al;

Fe^{2+/3+}, Mg²⁺, Mn²⁺, Cr³⁺, Sc³⁺ - substituindo o Al nos octaedros [AlO₆]⁹⁻; segundo Goldman *et al.* (1978), o **Fe²⁺** pode também estar presente nos canais;

Na⁺, Ca²⁺ - nos canais entre dois grupos HOH e, raramente, nos espaços entre os anéis;

K⁺ - em posições semelhantes ao grupo HOH dentro dos canais. Às vezes, nas posições ocupadas pelo **Rb⁺**;

Rb⁺ - nos canais entre HOH e três oxigênios de um anel ditrigonal, fortemente deformado;

Cs⁺ - nos canais, análogo ao **Rb⁺**, mas apresentando apenas uma leve distorção dos anéis;

Li⁺ - a) nas posições do Al, não em substituição a este, mas ocupando vacâncias quando existir uma deficiência de Al;

b) nas posições do Be;

c) quando este ocorre em excesso, raramente entra em posições especiais nos espaços entre os anéis.

A água está presente no berilo em teores de até 2,5% (Be₃Al₂Si₆O₁₈ • nH₂O, onde n varia de 0 a 1), apesar de não fazer parte da fórmula química do mineral. Esta porcentagem é função da natureza e da quantidade de outras “impurezas” presentes (Bakakin & Belov 1962).

Figura 37 - Estrutura do berilo: (a) projeção da face basal (0001). (b) projeção correspondente à face do prisma de 1ª ordem $\{10\bar{1}0\}$, com o eixo c vertical. Os números ao longo da dimensão c_c correspondem a valores percentuais deste parâmetro. Essa face está orientada perpendicularmente à face basal da figura 37a. As figuras são de Strunz & Tennyson (1977, in Schwarz 1987).

Segundo Wood & Nassau (1968), existem dois modos das moléculas de água se posicionarem nos canais da estrutura do berilo. As moléculas cujo eixo H-H ficam paralelas ao eixo c do berilo, são do tipo I. Quando o eixo for perpendicular ao eixo c , são do tipo II. Este fato implica na presença de álcalis como impureza nos canais, sendo que sua atração eletrostática provoca a rotação da molécula de água, sendo que o íon O^{2-} fica ao lado do álcali (Figura 38).

A separação desses dois tipos de moléculas de água é feita através de espectros de absorção no infravermelho, onde os picos de absorção apresentam valores distintos.

Sherriff *et al.* (1991), através de refinamento estrutural, mostraram várias situações no posicionamento dos álcalis e da H_2O na rede cristalina desse mineral, além de mostrar que a substituição de Li^+ por Be^{2+} condiciona a entrada de álcalis nos canais paralelos ao eixo c do berilo.

Figura 38 - Vista lateral dos canais na estrutura do berilo, onde estão representados apenas os oxigênios das paredes dos canais com as possíveis posições e orientações das moléculas de água e dos íons álcalis (adaptado de Aines & Rossman (1984), Deer *et al.* 1992 e de Aurisicchio *et al.* 1994).

De acordo com Bakakin *et al.* (1970), foram identificados seis “tipos-padrões” de berilo com base nos resultados fornecidos por difração de raios X, análise químicas e fórmulas estruturais.

Tipo I - berilo com a taxa máxima de substituição do elemento Be em posições tetraédricas (t-berilo);

Tipo II - berilo com taxa média de substituição do elemento Be em posições tetraédricas (t-berilo);

Tipo III - berilo cuja composição é próxima da ideal (n-berilo);

Tipo IV - berilo com taxa média de substituição do elemento Al em posições octaédricas (o-berilo);

Tipo V - berilo com a taxa máxima de substituição do elemento Al em posições octaédricas (o-berilo);

Tipo VI - bazzita $[\text{Be}_3(\text{Sc}, \text{Fe}, \text{Al})_2\text{Si}_6\text{O}_{18}]$, análoga ao berilo mas com impurezas de Sc e de Fe.

A grande maioria dos berilo naturais são representados pelos tipos II, III e IV.

A presença de berilo em pegmatitos está relacionada ao tamanho do íon Be, ou seja, sendo este muito pequeno, dificilmente é substituído por outro íon, ficando concentrado nos fluidos magmáticos residuais. Outros tipos de rochas onde são encontrados berilo, são os sienitos nefelínicos, micaxistos e mármore. No caso das esmeraldas, estas estão quase sempre ligadas a biotita xisto, embora as da Colômbia estejam situadas em filões de calcita que cortam calcário betuminoso (Deer *et al.* 1981). Segundo Holser (1953), o berilo está ligado a rochas ricas em alumínio, enquanto para as rochas pobres nesse elemento, o mineral a se formar é a helvita - $\text{Mn}_4\text{Be}_3(\text{SiO}_4)_3\text{S}$. Também podem ocorrer em aluvião, em greisens, veios hidrotermais pneumatolíticos ou como acessório em rochas ígneas ácidas (Betekhtin sd, Robert *et al.* 1974, Branco 1984a).

Quanto aos minerais que acompanham o berilo, podem ser citados quartzo, feldspato, muscovita, lepidolita, topázio, turmalina, espodumênio, cassiterita, tantalita, ferrocolumbita, fluorita, fenaquita, crisoberilo, wolframita, arsenopirita, pirita, molibdenita, calcita, parisita e rutilo (Deer *et al.* 1981).

O berilo pode-se decompor em caulinita $[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4]$, muscovita $[\text{KAl}_2(\text{Si}_3, \text{Al})\text{O}_{10}(\text{OH}, \text{F})_2]$, bavenita $[\text{Ca}_4\text{Be}_2\text{Al}_2\text{Si}_9\text{O}_{26}(\text{OH})_2]$, epididimita $[\text{NaBeSi}_3\text{O}_7(\text{OH})]$, bertrandita $[\text{Be}_4\text{Si}_2\text{O}_7(\text{OH})_2]$ e em milarita $[\text{K}_2\text{Ca}_4\text{Al}_2\text{Be}_4\text{Si}_{24}\text{O}_{60} \cdot \text{H}_2\text{O}]$ (Burt 1982).

7.2 - PROPRIEDADES FÍSICAS

Dentre as propriedades físicas, a cor é uma das mais importante devido ao emprego gemológico do berilo. A cor é geralmente branca, verde pálida ou verde amarelada e, freqüentemente, apresenta uma diafaneidade translúcida a opaca em amostra de mão. Em lâmina delgada é incolor. O berilo, transparente e colorido, também chamado de berilo nobre (Schumann 1992), em função de sua cor, possui diversas variedades usadas como gema, entre as quais se destacam a esmeralda e a água-marinha.

A **água-marinha**, segundo Milovsky & Kononov (1985), esta palavra deriva do latim *agua marinus*, sendo sua cor o azul, azul-esverdeado, verde amarelado ou verde-azulado. De acordo com Branco (1984b), esta cor está ligada ao escândio e talvez ao lítio e ao ferro. Como curiosidade, a água-marinha Maxixe, que é de cor azul-escuro e rica em bário, perde a sua cor quando exposta à luz por muito tempo. Esta variedade ocorre na lavra Maxixe em Araçuaí, MG (Branco 1984b). O berilo Maxixe original apresenta NO_3 no canal, enquanto o tipo Maxixe, CO_3 (Anderson 1979). Brown (1993) refere-se o tipo Maxixe com goshenita.

Esmeralda: palavra grega *smaragdos*, de cor verde intenso (verde clorofila) devido a presença do cromo e/ou vanádio. A substituição do Al por Cr enfraquece a estrutura implicando no aparecimento de inúmeras fraturas (Branco 1982). Branco (1984b) cita também o Fe nas esmeraldas brasileiras e o Cu nas colombianas. Para Schwarz (1987), além do Cr e do Fe, o V também está presente nas esmeraldas do Brasil. Esta variedade não ocorre nos pegmatitos graníticos estudados.

Goshenita: o nome provém de Goshen em Massachussets (EUA). Raramente é usada como gema, podendo ser incolor, branca, amarelada ou azulada (Branco 1982, 1984b).

Heliodoro: do grego *helios* (sol) + *doros* (dádiva), apresenta-se nas cores amarelado-dourado, amarelo-esverdeado, amarelo-acastanhado ou âmbar.

Morganita: o termo homenageia J. P. Morgan. Pode variar de cor-de-rosa a salmão, devido à presença de Mg ou Cs (Branco 1982, 1984b). Um sinônimo, quase que desconhecido, para esta variedade é vorobyevita em homenagem ao mineralogista russo V. I. Vorobyev (Milovsky & Kononov 1985). Para estes autores, esta variedade é rica em Cs e Li.

Bixbita: variedade extremamente rara, que ocorre a sudoeste de Simpson Sping em Utah (EUA). Sua cor é bem característica, variando do vermelho-groselha ao vermelho-salmão. Na

região de Ferros-MG esta variedade ocorre mas não é gemológica pela falta de limpidez. Deve-se tomar cuidado para não confundir com a bixbyíta - $(\text{Mn}^{3+}, \text{Fe}^{3+})_2\text{O}_3$.

Bazzita: variedade de cor amarela representada pela fórmula $\text{Be}_3(\text{Sc}, \text{Al})_2\text{Si}_6\text{O}_{18}$ (Milovsky & Kononov 1985).

Uma característica interessante, está na relação entre a cor e a composição química, onde esta combinação pode ora apresentar uma distribuição homogênea da cor, ora zoneamentos refletindo mudanças da composição durante o crescimento do cristal.

Com relação à coloração dos cristais de berilo do Campo de Marilac, são encontradas as variedades azulada (escória), a esverdeada (escória), as azuis (água-marinha) que são comuns e, raramente, a rósea e a incolor. Nos pegmatitos do Escondido e do Jonas Lima II foram coletadas amostras de escória (uso industrial), água-marinha, morganita e goshenita.

Quanto ao pleocroísmo, o berilo por ser uniaxial apresenta dicroísmo que é mais facilmente observado em lâminas espessas, especialmente nas variedades de cores mais escuras e com a ajuda de um dicroscópio. No berilo azul, o dicroísmo na direção n_m é azul-claro ou incolor e na direção n_e a cor é azul celeste. A melhor posição para se lapidar uma água-marinha é colocar a mesa da pedra perpendicular ao eixo n_e . Estas características são observadas nos berilos azuis gemológicos do Campo de Marilac.

Dentre as várias propriedades físicas, as ópticas também variam em função do quimismo do berilo (Schaller *et al.* 1962). Um acréscimo no teor de álcalis é seguido de um aumento no valor dos índices de refração e da densidade. A Figura 39 ilustra a variação do índice de refração com o teor de álcalis (Deer *et al.* 1981). Para esses autores, o valor de n_m , encontrado na literatura, varia de 1,557 a 1,599 e o de n_e entre 1,560 e 1,602, resultando em uma birrefringência entre 0,004 a 0,009, e em uma dispersão fraca de 0,014. O acréscimo de outros elementos químicos, como Ca^{2+} , Ba^{2+} , Sr^{2+} , Cr^{3+} , V^{3+} , Ti^{4+} entre outros, aumenta a birrefringência e o parâmetro a_o , permanecendo constante o valor de c_o (Cerný & Hawthorne 1976). Sinkankas (1981) apresenta uma grande variação dos índices de refração para as variedades distintas de berilo. A partir de valores de n_m , Cerný & Simpson (1977) identificam a posição de cristalização do berilo no pegmatito.

O brilho do berilo é vítreo e sua diafaneidade, isto é, a capacidade de transmissão da luz, varia de transparente a translúcida em amostras de mão. Dependendo da orientação no interior do cristal, os berilos com inclusões aciculares podem apresentar o fenômeno de *chatoyance*

(olho-de-gato) ou de asterismo, podendo ser observados em peças lapidadas na forma de cabochão. Esses fenômenos, são raros de ocorrer no berilo, devido a grande quantidade de outras inclusões encontradas neste mineral.

O berilo é uniaxial negativo, apesar de desenvolver cristais biaxiais (ortorrômbicos) com $2V_z$ de até 17° (Deer *et al.* 1981). Esta biaxialidade é anômala, sendo devida provavelmente à tensões internas causadas por substituições químicas e/ou defeitos surgidos durante o crescimento do cristal, por abaixamento rápido da temperatura ou da pressão, ou ainda por deformação mecânica (Foord & Mills 1978).

Os índices de refração do berilo foram medidos através de um refratômetro para sólidos, modelo TOPCON, disponível no DEGEO/EM/UFOP. Os valores obtidos para os índices de refração e para a birrefringência de 21 amostras encontram-se na Tabela 31. O índice de refração n_o variou entre 1,576 e 1,582 enquanto o n_e entre 1,581 e 1,590. A amostra de morganita (5649morg) foi a que apresentou o maior valor de $n_o = 1,590$ enquanto o maior valor de $n_e = 1,582$ pertencente à amostra 5577ber1, azul-claro. A birrefringência está compreendida entre 0,005 para cristais azulados e 0,009 para o cristal róseo. Os valores dos índices de refração mostram um aumento para aqueles ricos em álcalis, como na morganita e goshenita, os mais altos encontrados, aliado ao aumento de álcalis na estrutura do berilo. Estes dados corroboram com a direção do fracionamento químico de SW para NE (Figura 39).

A densidade aumenta com o acréscimo de álcalis. Através do diagrama extraído de Deer *et al.* (1981) (Figura 39), pode-se observar nitidamente um aumento na variação da densidade acompanhado de um acréscimo no teor de álcalis. Segundo Sinkankas (1981), o berilo apresenta as seguintes variações de densidade: intervalo teórico para o berilo puro = 2,620 - 2,661; valor máximo já observado em berilos naturais = 2,628 - 2,910; variação observada em álcali-berilo = 2,800 - 2,910.

A densidade relativa (d) do berilo foi determinada com a utilização de uma balança analítica eletrônica Mettler, modelo H 54AR, do CPMT/IGC/UFMG, cuja precisão é de 0,0001g e com capacidade de 1.200mg. Para os berilos selecionados para esta Tese, os valores da densidade (Tabela 32) estão compreendidos entre 2,714 (5635ber - incolor) e 2,847 (5649morg - rósea), valores comparáveis aos de Sinkankas (1981).

Figura 39 - Diagrama ilustrando a variação dos índices de refração e também da densidade relativa em função da concentração de álcalis. Dados comparativos extraídos de Deer et al. (1981).

Tabela 31 - Valores de índice de refração, birrefringência e cor de 21 cristais de berilo referentes a 11 pegmatitos do Campo de Marilac.

Lavras	amostras	n_e	n_o	Δ	cor
Ipê	5540berb	1,580	1,585	0,005	azul-claro
	5542ber	1,578	1,585	0,007	azul-claro
	5575ber	1,578	1,585	0,007	verde-azulado
Ferreirinha II	5670ber1	1,576	1,581	0,005	verde-azulado
Ferreirinha I	5583ber1	1,580	1,585	0,005	azul-claro
	5584ber4a	1,578	1,583	0,005	azul-esverdeado
	5669ber	1,578	1,583	0,005	amarelo-esverdeado
Olho-de-Gato	5577ber1	1,582	1,588	0,006	azul-claro
	5577ber2	1,578	1,585	0,007	verde-amarelado
Faz. Japonesa	5661ber	1,578	1,583	0,005	azul-claro
Golconda III	5664ber	1,578	1,584	0,006	azul-claro
Toninho	5653ber	1,580	1,587	0,007	azul-claro
Alberto	5639ber	1,580	1,586	0,006	azul-claro
José Pereira	5648ber	1,580	1,586	0,006	azul-claro
	5649bera	1,580	1,587	0,007	azul-claro
	5649morg	1,581	1,590	0,009	rosa
	5651ber	1,578	1,583	0,005	azul-esverdeado
	5666ber	1,578	1,585	0,007	azul
Marcial	5635ber	1,577	1,583	0,006	leitoso
	5636ber	1,578	1,585	0,007	verde-azulado
Doca e Helder	5658ber	1,576	1,583	0,007	azul-esverdeado

Quanto a dureza deste mineral, há uma anisotropia acentuada em suas faces, isto é, as faces dos prismas apresentam dureza mais elevada do que as faces basais. Para os berilos alcalinos, esta propriedade varia inversamente com a proporção de álcalis contidos. O traço deste mineral é branco.

Apesar do berilo possuir dureza alta na escala de Mohs (7½ - 8), sua tenacidade é quebradiça. A fratura normalmente é irregular e, às vezes, conchoidal. Quanto à clivagem, Deer *et al.* (1981), descreve uma direção segundo {0001} como imperfeita. Esta se dá entre os anéis de sílica, estando estes, paralelos aos planos basais. Segundo Betekhtin (sd), existe um outro plano de clivagem, paralelo às faces do prisma {10 $\bar{1}$ 0}.

Tabela 32 - Dados de densidade de 21 cristais berilo referentes a 11 pegmatitos do Campo de Marilac.

Lavras	amostras	d	cor
Ipê	5529ber	2,74	azul-claro
	5540berb	2,74	azul-claro
	5541bera	2,74	azul-claro
	5542ber	2,73	azul-claro
	5575ber	2,73	verde-azulado
Ferreirinha II	5670ber1	2,77	verde-azulado
Ferreirinha I	5583ber1	2,77	azul-claro
	5584ber	2,73	azul-claro
	5584ber1	2,74	azul
	5584ber4a	2,73	azul-esverdeado
	5584ber4b	2,74	azul-leitoso
Olho-de-Gato	5669ber	2,75	amarelo-esverdeado
	5577ber	2,77	azul-claro
	5577ber1	2,77	azul-claro
	5577ber2	2,78	verde-amarelado
Jonas Lima II	5617bera	2,73	azul-claro
	5617berb	2,76	azul-claro
	5617berc	2,73	azul-claro
	5617berd	2,74	azul-claro
	5618morg	2,76	róseo
	5619bera	2,78	verde-amarelado
	5619berb	2,71	verde-azulado
Jonas Lima I	5619berc	2,79	incolor
	5624bera	2,75	esverdeado-leitoso
	5624berb	2,73	azul-claro
	5732bera	2,73	azul-claro
Faz. Japonesa	5732berb	2,76	azul
	5661ber	2,77	azul
Golconda III	5661bera	2,81	azul-claro
	5664ber	2,74	azul-claro
Escondido	5676ber	2,76	azul muito claro
	5680ber1	2,74	azul-claro esverdeado
	5731bera	2,77	incolor
	5731morg	2,79	róseo-claro
	5731berb	2,78	azul-claro
Urbano	5731gos	2,84	incolor
	5663ber1	2,72	azul-esverdeado
Toninho	5653ber	2,74	azul-claro
Alberto	5639ber	2,73	azul-claro
	5641ber1	2,76	azul
Rames	5652ber	2,74	azul
José Pereira	5648ber	2,76	azul-claro
	5649bera	2,72	azul-claro
	5649morg	2,85	róseo
	5651ber	2,81	azul-esverdeado
	5666ber	2,72	azul
Marcial	5635ber	2,71	leitoso
	5636ber	2,73	verde-azulado
Doca e Helder	5658ber	2,77	azul-esverdeado

7.3 - CLASSIFICAÇÃO GEOQUÍMICA DO BERILO

A caracterização geoquímica dos pegmatitos, pode ser feita através de alguns minerais, incluindo entre eles o berilo. Este mineral também permite a identificação de agrupamentos pegmatíticos petrogeneticamente similares (Cerný 1975b).

Segundo Dar & Phadke (1964), através de algumas das variedades do berilo é possível separar alguns tipos de pegmatitos. Desta forma, o berilo azulado (água-marinha), pode ocorrer em pegmatitos zonados e não diferenciados, enquanto que o berilo róseo (morganita) por ser rico em álcalis, está sempre presente nas zonas mais internas dos pegmatitos zonados e diferenciados. Para Correia Neves *et al.* (1984), através das características geoquímicas e paragenéticas dos vários sistemas geológicos em que o berilo ocorre, há uma correlação entre as variações da composição química deste mineral, especialmente dos seus teores em álcalis com as condições genéticas de formação dos corpos.

Como a composição química do berilo é uma função da variação composicional do ambiente onde ele se cristaliza, Staatz *et al.* (1965) estudaram cristais de berilo de diferentes ambientes geológicos, sem contudo pesquisarem a variação química deste mineral dentro dos corpos pegmatíticos. Para esses autores, o berilo de veios, riolitos, granitos e de rochas encaixantes de pegmatitos são pobres em álcalis e ricos em outros elementos. Quando o ambiente magmático é rico em álcalis, porém pobre em ferro, magnésio, titânio e cromo, favorece a formação de pegmatitos graníticos.

Estudos sobre espectroscopia no infravermelho de moléculas de H_2O e CO_2 presas na estrutura do berilo realizados por Flanigen *et al.* (1967) e Wood & Nassau (1968), indicaram as condições de formação deste mineral. Phylusnina (1964, *in* Estep-Barnes 1977) pesquisou o conteúdo de cátions em berilos e Vlasova & Topunova (1971, *in* Estep-Barnes 1977) a origem genética. Wood & Nassau (1967) estudaram várias outras moléculas presente no berilo. Schmetzer & Kiefert (1990) também realizaram estudos sobre a molécula de H_2O em berilo naturais e sintéticos por espectroscopia de absorção no infravermelho. Schmetzer & Bernhardt (1994) pesquisaram as substituições do Al e Si no sítio tetraédrico do Be.

A classificação do berilo proposta por Beus (1966), foi modificada por Cerný (1975b), o qual, baseando-se na variação do teor de álcalis na estrutura deste mineral, distinguiu cinco tipos distintos de berilo a saber.

- 1) - **Berilo livre de álcalis:** o berilo ocorre, predominantemente, tanto em bolsões de pegmatitos gráficos como em bolsões pegmatíticos em granitos, possuindo teor de álcalis $<0,1\%$ em peso.
- 2) - **Berilo potássico pobre em álcalis e sódico-potássico:** o berilo ocorre em bolsões pegmatíticos, em granitos e nos núcleos de quartzo em pegmatitos simples, com teores de potássio variando entre 0,2 a 0,5% em peso.
- 3) - **Berilo sódico:** esta variedade é característica de pegmatitos ricos em albita, porém pobres em álcalis raros, predominando o sódio cujos teores variam entre 0,5 a 1,0% em peso.
- 4) - **Berilo sódico-litinífero:** o berilo está presente em pegmatitos portadores de lítio, estando os teores de sódio entre 0,X e 2,0% e os de lítio em até 0,6% em peso. O céσιο aparece em valores muitos baixos.
- 5) - **Berilo céσιο-litinífero:** este tipo ocorre em pegmatitos ricos em lítio, extremamente diferenciados, onde a polucita está freqüentemente presente. O teor de céσιο em peso é maior que 0,5%, juntamente com teores elevados de sódio e lítio.

De acordo com Beus (1966), o berilo pode ser encontrado em diferentes ambientes geológicos, sendo que os de qualidade gemológica estariam associados principalmente à pegmatitos graníticos miarolíticos.

Resumidamente, quanto ao berilo, podemos dizer que os azulados são os primeiros a se cristalizar, sendo contudo pobres em álcalis e com teores relativamente altos em ferro. Normalmente estão associados a pegmatitos não diferenciados, mas podem ocorrer também nas zonas mais externas dos pegmatitos zonados e diferenciados. Numa seqüência progressiva, com o enriquecimento em elementos raros do pegmatito, juntamente com o aumento do fracionamento, o berilo adquire uma cor rosada, possuindo baixo teor em ferro, alto teor em álcalis e impurezas de Mn, estando este associado a lepidolita e a níveis predominantemente albiticos. Neste último caso, ele ocorre sempre nas zonas mais internas dos pegmatitos zonados e diferenciados. Portanto, o berilo é um dos minerais que permitem a caracterização geoquímica dos pegmatitos, além de facilitar os conhecimentos dos pegmatíticos petrogeneticamente similares (Cerný 1975b). Para Correia Neves *et al.* (1984), as variações na composição química do berilo, principalmente nos seus teores em álcalis, estão correlacionadas com as características paragenéticas e geoquímicas do ambiente em que este mineral ocorre, como também com as dos pegmatitos graníticos portadores de berilo.

7.4 - BERILO DO CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC

As 60 amostras de berilo coletadas e analisadas neste trabalho, pertencem a 18 pegmatitos zonados simples e complexos. Elas são, em sua maioria, escória azulada, ou então fragmentos azuis, raramente róseos e incolores.

Os politipos de 49 cristais de berilo foram determinados a partir dos parâmetros de cela unitária a_0 e c_0 , obtidos por difratometria de raios X, cujos valores estão reunidos na Tabela 33 de acordo com Bakakin *et al.* (1970) e Aurisicchio *et al.* (1994). Os politipos calculados neste trabalho estão ilustrados na Figura 40. A partir dessa figura, observa-se que 14,29% das amostras correspondem a berilo do tipo I, com taxa máxima de substituição nas posições tetraédricas ocupadas pelo elemento Be (t-berilo). O tipo II, correspondendo a 63,26% das amostras estudadas, possui taxa média de substituição do elemento Be (t-berilo). Berilo do tipo III, cuja composição é próxima da ideal (n-berilo), corresponde a 4,08%. Finalmente, 18,37% correspondem a berilo de transição entre os tipos II e III, com valores mais próximos ao III. Com estes dados pôde-se também constatar que num mesmo pegmatito há variações do politipo do berilo, segundo a zona do pegmatito a que pertence.

Apenas duas das 49 amostras estudadas por difratometria de raios X podem ser referidas pela composição química $Al_2Be_3Si_6O_{18} \cdot zH_2O$, denominadas por Aurisicchio *et al.* (1988) como berilo normal. O berilo do tipo tetraédrico cujo membro externo pode ser representado pela fórmula $R_f^+Al_2Be_2LiSi_6O_{18} \cdot zH_2O$ é aquele característico da área de estudo, constituindo aproximadamente, 80% do total dos cristais analisados. Os elementos alcalinos (R_f^+) encontrados foram Na (17.879 - 371ppm), Li (2.844 - <42ppm), K (2.573 - 415ppm), Cs (33.262 - 345ppm) e Rb (560 - 24ppm), sendo colocados em destaque os valores máximos e mínimos das análises químicas.

Tabela 33 - Constantes da cela unitária de 49 cristais de berilo pertencentes a 18 pegmatitos do Campo de Marilac.

LAVRA	código	a_0	c_0	V	c_0/a_0
Ipê	5529ber	9,21198	9,20656	676,60360	0,99941
	5540berb	9,21155	9,20802	676,64640	0,99962
	5541bera	9,22058	9,20435	677,70370	0,99824
	5542ber	9,21827	9,21147	677,88850	0,99926
	5575ber	9,22742	9,20726	678,92540	0,99782
Ferreirinha II	5670berl	9,21706	9,20799	677,45500	0,99902
São Domingos	5680berl	9,21416	9,20235	676,61360	0,99872
Ferreirinha I	5583berl	9,20778	9,19796	675,35490	0,99893
	5584ber	9,21811	9,21237	677,93100	0,99938
	5584berl	9,21811	9,21237	677,93100	0,99938
	5584ber4a	9,21378	9,20534	676,77750	0,99908
	5584ber4b	9,21289	9,20144	676,36100	0,99876
	5669ber	9,21386	9,20722	676,92800	0,99928
Olho de Gato	5577ber	9,21681	9,19735	676,63490	0,99789
	5577berl	9,20859	9,20243	675,80200	0,99933
	5577ber2	9,21144	9,20559	676,45280	0,99936
Jonas Lima II	5617bera	9,20835	9,20501	675,95530	0,99964
	5617berb	9,21165	9,21031	676,82950	0,99985
	5617berc	9,20984	9,21049	676,57660	1,00007
	5617berd	9,20729	9,20222	675,59540	0,99945
	5618morg	9,21537	9,21809	677,95000	1,00030
	5619bera	9,21609	9,21426	677,77410	0,99980
	5619berb	9,21125	9,20474	676,36210	0,99929
	5619berc	9,20953	9,19938	675,71600	0,99890
Jonas Lima I	5624bera	9,20714	9,20190	675,55050	0,99943
	5624berb	9,20633	9,19778	675,12810	0,99907
	5732bera	9,20816	9,20744	676,10630	0,99992
	5732berb	9,21282	9,20225	676,40980	0,99885
Faz. Japonesa	5661bera	9,20945	9,19981	675,73570	0,99895
Golconda III	5664ber	9,20384	9,19599	674,63210	0,99915
Golconda I	5569ber	9,20587	9,20266	675,41980	0,99965
Escondido	5676ber	9,21294	9,21282	677,20370	0,99999
	5731bera	9,20955	9,20717	676,29120	0,99974
	5731berb	9,21230	9,20412	676,47050	0,99911
	5731amorg	9,21441	9,21540	677,60930	1,00011
	5731gos	9,21372	9,21859	677,74330	1,00053
Urbano	5663berl	9,21080	9,20304	676,17110	0,99916
Toninho	5653ber	9,21335	9,21028	677,07800	0,99967
Alberto	5639ber	9,20673	9,20518	675,73060	0,99983
	5641berl	9,21099	9,20340	676,22550	0,99918
Rames	5652ber	9,21496	9,20245	676,73880	0,99864
José Pereira	5648ber	9,20429	9,20421	675,30230	0,99999
	5649bera	9,21571	9,20645	677,14340	0,99900
	5649morg	9,21175	9,21447	677,15020	1,00030
	5651ber	9,20798	9,20154	675,64720	0,99930
	5666ber	9,21768	9,20334	677,20310	0,99844
Marcial	5635ber	9,20747	9,20517	675,83920	0,99975
	5636ber	9,21268	9,20990	676,95090	0,99970
Doca e Helder	5658ber	9,20656	9,20621	675,78120	0,99996

As análises químicas de 60 cristais de berilo, todos pertencentes ao Campo de Marilac (Tabela 34), foram realizadas por fluorescência de raios X, ICP e titulometria no CPMT/IGC/UFG. O elemento Ba foi dosado somente para a amostra 152 Farias (Jonas Lima I) com 70ppm e o Zn para as seguintes amostras: 3855 JP-I, 144; 3585 Golc. I, 168; 5455 Ipê, 195; 5459 Ipê, 119 e 5463 Ipê, 158ppm. Estes valores são de Marciano (1985), Achtschin & Marciano (1996) e Achtschin *et al.* (1996).

Segundo a classificação de Cerný (1975b), a maioria das amostras de berilo estudadas se enquadra no tipo 3, ou seja, berilo-Na onde o sódio predomina (0,2 a 1,1%), ocorrendo em pegmatitos ricos em albita, porém muito pobres em álcalis raros. Poucos são do tipo 1, sendo classificados como berilo livres de álcalis e ocorrendo em pegmatitos gráficos. Dentre os elementos cromóforos, o Fe_2O_3 varia de 0,1 na morganita à 1,51% na água-marinha.

O quimismo da fase fluida do berilo foi identificado por três técnicas distintas a saber; microtermometria, espectroscopia de absorção no infravermelho e espectroscopia micro-Raman. A primeira e a última técnica só foram empregadas para cristais de berilo do Pegmatito do Ipê.

Com relação às inclusões fluidas, estas apresentam morfologias idênticas aos cristais de berilo de Teixeira de Freitas (Bahia), também pertencentes à Província Pegmatítica Oriental, estudadas por César-Mendes *et al.* (1994), Bello *et al.* (1996), Bello *et al.* (1997) e Gandini *et al.* (1997a).

Inclusões fluidas em amostras de berilo do Pegmatito do Ipê da zona gráfica, intermediária e de um corpo de substituição, ainda estão sendo estudadas por Bello *et al.* (em preparação), tendo sido observado as seguintes características: predominância de inclusões fluidas bifásicas, essencialmente aquosas, com formas de cristais negativos de seção retangular. Na maioria dos casos orientam-se paralelamente ao eixo c do berilo hospedeiro, embora também ocorram inclusões perpendiculares ou inclinadas em relação a esse eixo. Também foram observadas inclusões trifásicas a multifásicas, compostas por H_2O (l), H_2O (v) e fases sólidas anisótropas, ocasionais. Planos de inclusões fluidas distribuídas em fraturas cicatrizadas internas ao cristal hospedeiro, sugerindo uma origem pseudo-secundária, foram também identificados. As inclusões estudadas possuem dimensões localizadas na faixa de 15 a 50 μm .

Tabela 34 - Dados químicos de 60 amostras de berilo referentes a 19 pegmatitos. Os dados analíticos da amostra 152* [Faria I (Jonas Lima I)] são de Correia Neves et al. (1984), Marciano (1985) (lavras do Faria 279A e B, Ferreirinha 2236B e Olho-de-Gato 1482 e 2324) e de Achtschin & Marciano (1996) (José Pedra I, 3855; Golconda, 3585 e Ipê 5455, 5459 e 5463). (- não analisado).

amostra	3855	5455	5459	5463	5529	5540b	5541a	5542	5575	5669	5670
pegmatito	J Pedra AV	Ipê A	Ipê A	Ipê AM	Ipê	Ipê	Ipê	Ipê	Ipê	Ferr II	Ferr II
SiO ₂	67,30	67,40	66,90	67,40	66,90	66,40	66,80	66,10	67,00	66,90	67,10
TiO ₂	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Al ₂ O ₃	18,70	19,10	18,40	19,00	17,90	18,20	17,80	18,30	18,20	18,20	18,10
Fe ₂ O _{3t}	0,49	0,67	0,63	0,42	0,64	0,77	0,69	0,78	0,63	0,45	0,60
Fe ₂ O ₃					0,33	0,33	0,38	0,60	0,41	0,05	0,29
FeOt					0,31	0,44	0,31	0,18	0,22	0,40	0,31
FeO					0,28	0,40	0,28	0,16	0,20	0,36	0,28
BeO	10,80	9,50	10,80	10,00	11,13	11,20	11,23	11,21	11,17	11,25	11,18
MnO					0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
MgO	<0,10	<0,10	0,32	<0,10	0,16	0,18	0,44	0,32	0,04	0,21	0,01
CaO	-	-	-	-	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	<0,01
Na ₂ O	0,26	0,44	0,31	0,48	0,45	0,25	0,28	0,10	0,19	0,27	0,39
K ₂ O	0,06	0,06	0,02	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02
Li ₂ O	0,03	0,07	0,04	0,07	0,10	0,06	0,03	0,03	0,03	<0,01	<0,01
Cs ₂ O	0,09	0,24	0,35	0,21	0,16	0,06	0,07	0,07	0,06	0,05	0,12
Rb ₂ O	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Ga ₂ O ₃					0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
PF	1,70	1,81	1,73	1,81	2,15	2,19	2,19	2,22	2,11	2,15	2,00
Total	99,58	99,41	99,52	99,59	99,68	99,40	99,60	99,21	99,51	99,54	99,58
Si	6,238	6,312	6,231	6,275	6,214	6,183	6,205	6,164	6,216	6,207	6,222
Al	2,041	2,106	2,018	2,083	1,958	1,996	1,947	2,010	1,988	1,989	1,976
Ti	0,003	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Fe3	0,000	0,000	0,000	0,000	0,023	0,023	0,027	0,042	0,029	0,003	0,020
Be	2,405	2,137	2,417	2,237	2,484	2,505	2,506	2,511	2,489	2,507	2,490
Mg	0,014	0,014	0,044	0,014	0,022	0,025	0,061	0,044	0,006	0,029	0,001
Li	0,011	0,026	0,015	0,026	0,037	0,022	0,011	0,011	0,011	0,004	0,004
Fe2	0,000	0,000	0,000	0,000	0,022	0,031	0,022	0,012	0,016	0,028	0,022
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
Na	0,047	0,080	0,056	0,087	0,081	0,045	0,050	0,018	0,034	0,049	0,070
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
K	0,007	0,007	0,002	0,006	0,006	0,005	0,002	0,002	0,004	0,004	0,002
Cs	0,004	0,010	0,014	0,008	0,006	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,005
Rb	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
Ga	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
cátions	10,770	10,694	10,799	10,740	10,857	10,842	10,839	10,823	10,800	10,824	10,817

continua

continuação

amostra	5580	2236B	5583	5584	5584a4	5584b4	5584 berl	5569	1482	2324C	5577
pegmatito	S.Domin	Ferr I M	Ferr I	Ferr I	Ferr I	Ferr I	Ferr I	Ferr I	O.Gato M	O.Gato M	O.Gato
SiO ₂	66,90	66,20	66,90	67,10	67,60	67,20	67,00	66,50	66,80	66,80	66,70
TiO ₂	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	-	< 0,01
Al ₂ O ₃	17,80	17,40	18,10	18,10	18,00	17,60	18,00	18,00	18,20	18,40	18,20
Fe ₂ O _{3t}	0,69	0,83	0,58	0,61	0,51	0,48	0,73	0,66	0,57	0,42	0,65
Fe ₂ O ₃	0,25		0,22	0,17	0,11	0,12	0,37	0,26			0,21
FeOt	0,44		0,36	0,44	0,40	0,36	0,36	0,40			0,44
FeO	0,40		0,32	0,40	0,36	0,32	0,32	0,36			0,40
BeO	11,42	12,40	11,44	11,38	11,31	11,38	11,40	11,28	11,70	11,80	11,17
MnO	0,01		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01			0,01
MgO	0,35	-	0,13	0,17	0,15	0,18	0,40	0,30	-	-	0,10
CaO	0,02	-	< 0,01	0,03	0,01	0,05	< 0,01	0,03	-	-	0,02
Na ₂ O	0,21	0,51	0,05	0,05	0,12	0,10	0,14	0,28	0,70	0,48	0,20
K ₂ O	0,03	0,05	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,14	0,04	0,03	0,02
Li ₂ O	0,02	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,08	0,08	0,10	0,04
Cs ₂ O	0,10	0,16	0,04	0,08	0,29	0,18	0,28	0,05	0,09	0,14	0,05
Rb ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Ga ₂ O ₃	0,01		0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			0,01
PF	2,04	2,58	2,09	1,92	1,83	2,14	1,90	2,18	2,07	2,10	2,12
Total	99,62	100,18	99,43	99,52	99,90	99,57	99,75	99,53	100,26	100,28	99,31
Si	6,201	6,155	6,202	6,210	6,236	6,232	6,200	6,184	6,173	6,160	6,205
Al	1,943	1,905	1,976	1,973	1,955	1,922	1,962	1,971	1,981	1,998	1,994
Ti	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
Fe3	0,017	0,000	0,015	0,012	0,008	0,008	0,026	0,018	0,000	0,000	0,015
Be	2,543	2,770	2,548	2,530	2,506	2,535	2,534	2,520	2,597	2,614	2,496
Mg	0,048	0,000	0,018	0,023	0,021	0,055	0,025	0,042	0,000	0,000	0,014
Li	0,007	0,015	0,011	0,007	0,011	0,011	0,011	0,030	0,030	0,037	0,015
Fe2	0,031	0,000	0,025	0,031	0,028	0,025	0,025	0,028	0,000	0,000	0,031
Mn	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
Na	0,038	0,092	0,009	0,009	0,021	0,018	0,025	0,050	0,125	0,086	0,036
Ca	0,002	0,000	0,001	0,003	0,001	0,001	0,005	0,003	0,000	0,000	0,002
K	0,004	0,006	0,002	0,004	0,004	0,002	0,002	0,017	0,005	0,004	0,002
Cs	0,004	0,006	0,002	0,003	0,011	0,007	0,011	0,002	0,004	0,006	0,002
Rb	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
Ga	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
cátions	10,842	10,950	10,813	10,808	10,804	10,819	10,828	10,868	10,916	10,906	10,816

continua

continuação

amostra	5577ber1	5577 ber2	5617a	5617b	5617c	5617d	5618 morg	5619a	5619b	5619c	152
pegmatito	O.Gato	O.Gato	J Lima II	J Lima II	J Lima II	J Lima II	J Lima II	J Lima II	J Lima II	J Lima II	J Lima I M
SiO ₂	66,60	66,80	66,90	67,00	66,80	66,70	66,60	66,70	66,50	73,30	64,80
TiO ₂	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	0,014
Al ₂ O ₃	18,00	17,80	18,00	18,10	18,20	18,20	18,70	18,00	18,30	13,70	17,70
Fe ₂ O _{3t}	0,74	0,87	0,65	0,64	0,43	0,55	0,02	0,72	0,56	0,24	1,51
Fe ₂ O ₃	0,34	0,34	0,34	0,20	0,07	0,24	0,01	0,42	0,22	0,11	
FeOt	0,40	0,53	0,31	0,44	0,36	0,31		0,30	0,34	0,13	
FeO	0,36	0,48	0,28	0,40	0,32	0,28	<0,01	0,27	0,31	0,12	
BeO	11,31	11,37	11,33	10,97	10,98	11,20	10,03	11,38	11,17	9,49	14,00
MnO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	
MgO	0,13	0,10	0,08	0,05	< 0,01	0,05	< 0,01	0,12	0,08	0,02	0,32
CaO	0,01	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	<0.10
Na ₂ O	0,20	0,29	0,14	0,44	0,45	0,28	0,57	0,21	0,36	0,13	0,55
K ₂ O	0,03	0,03	0,02	0,06	0,04	0,03	0,27	0,03	0,04	0,05	<0.10
Li ₂ O	0,05	0,06	0,06	0,01	0,10	< 0,01	0,30	< 0,01	0,01	0,01	0,05
Cs ₂ O	0,06	0,07	0,05	0,08	0,36	0,06	3,00	0,06	0,06	0,10	0,10
Rb ₂ O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,00
Ga ₂ O ₃	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	
PF	2,15	2,16	2,20	2,12	2,32	2,25	2,44	2,05	2,27	2,36	1,54
Total	99,32	99,60	99,48	99,52	99,75	99,39	102,03	99,33	99,40	99,44	100,68
Si	6,197	6,204	6,210	6,231	6,220	6,206	6,230	6,197	6,193	6,797	5,958
Al	1,972	1,947	1,968	1,982	1,996	1,994	2,060	1,969	2,007	1,496	1,917
Ti	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Fe3	0,024	0,024	0,024	0,014	0,005	0,017	0,001	0,029	0,015	0,008	0,000
Be	2,528	2,537	2,527	2,451	2,456	2,503	2,254	2,540	2,499	2,114	3,092
Mg	0,018	0,014	0,011	0,007	0,001	0,007	0,001	0,017	0,011	0,003	0,044
Li	0,019	0,022	0,022	0,004	0,037	0,004	0,113	0,004	0,004	0,004	0,018
Fe2	0,028	0,037	0,022	0,031	0,025	0,022	0,001	0,021	0,024	0,009	0,000
Mn	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
Na	0,036	0,052	0,025	0,079	0,081	0,051	0,103	0,038	0,065	0,023	0,098
Ca	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,005
K	0,004	0,004	0,002	0,007	0,005	0,004	0,032	0,004	0,005	0,006	0,006
Cs	0,002	0,003	0,002	0,003	0,014	0,002	0,120	0,002	0,002	0,004	0,004
Rb	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001	0,000
Ga	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000
cátions	10,833	10,849	10,818	10,814	10,845	10,816	10,922	10,826	10,830	10,468	11,143

continua

continuação

amostra	279A	279B	5624a	5624b	5732a	5732b	5661	5664	3585	5676	5731a
pegmatito	J Lima	J Lima I	J Lima I	J Lima I	J Lima I	J Lima I	Faz.	Golc.	Golc.I	Escond.	Escond.
	I M	M		I			Jap	III	AM		
SiO ₂	66,20	66,60	65,70	66,70	66,80	66,70	67,10	66,00	66,70	67,50	66,90
TiO ₂	-	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,05	< 0,01	< 0,01
Al ₂ O ₃	18,00	18,50	18,40	18,30	18,70	18,40	18,30	17,90	18,40	18,30	18,60
Fe ₂ O _{3t}	0,82	0,10	0,52	0,51	0,20	0,56	0,54	0,53	0,75	0,33	0,15
Fe ₂ O ₃			0,30	0,20	0,07	0,12	0,27	0,17		0,06	0,11
FeOt			0,22	0,31	0,13	0,44	0,27	0,36		0,27	0,04
FeO			0,20	0,28	0,12	0,40	0,24	0,32		0,24	0,04
BeO	11,90	10,90	11,30	11,28	10,47	11,14	11,18	11,03	11,20	10,89	10,30
MnO			0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01		0,01	0,01
MgO	-	-	0,12	0,02	< 0,01	0,06	0,04	0,03	0,26	0,01	< 0,01
CaO	-	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	-	< 0,01	< 0,01
Na ₂ O	0,65	0,98	0,66	0,38	0,48	0,29	0,19	2,41	0,30	0,15	0,72
K ₂ O	0,03	0,04	0,06	0,04	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,05
Li ₂ O	0,16	0,67	0,02	0,01	0,07	0,03	0,02	< 0,01	0,03	0,08	0,16
Cs ₂ O	0,13	0,51	0,04	0,07	0,24	0,23	0,05	0,05	0,04	0,15	0,36
Rb ₂ O	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,03	0,06
Ga ₂ O ₃			0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01		0,01	0,01
PF	2,47	2,68	2,37	2,17	2,48	2,17	2,00	1,88	2,00	2,33	2,57
Total	100,37	101,01	99,24	99,53	99,54	99,67	99,48	99,90	99,76	99,83	99,92
Si	6,148	6,162	6,142	6,194	6,239	6,198	6,217	6,153	6,199	6,256	6,246
Al	1,969	2,016	2,026	2,001	2,057	2,013	1,997	1,965	2,014	1,997	2,045
Ti	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,001	0,001
Fe3	0,000	0,000	0,021	0,014	0,005	0,008	0,019	0,012	0,000	0,004	0,008
Be	2,655	2,423	2,538	2,517	2,349	2,487	2,488	2,470	2,501	2,425	2,310
Mg	0,000	0,000	0,017	0,003	0,001	0,008	0,006	0,004	0,036	0,001	0,001
Li	0,060	0,249	0,008	0,004	0,026	0,011	0,007	0,004	0,011	0,030	0,060
Fe2	0,000	0,000	0,016	0,022	0,009	0,031	0,019	0,025	0,000	0,019	0,003
Mn	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
Na	0,117	0,176	0,120	0,068	0,087	0,052	0,034	0,436	0,054	0,027	0,130
Ca	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
K	0,004	0,005	0,007	0,005	0,002	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,006
Cs	0,005	0,020	0,002	0,003	0,010	0,009	0,002	0,002	0,002	0,006	0,014
Rb	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004
Ga	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
cátions	10,959	11,053	10,902	10,836	10,791	10,825	10,795	11,077	10,823	10,773	10,831

continua

continuação

amostra	5731amorg	5731b	5731gos	5663	5653	5639	5641	5652
pegmatito	Escond.	Escond.	Escond.	Urbano	Toninho	Alberto	Alberto	Rames
SiO ₂	66,90	66,40	66,40	66,70	66,80	66,40	66,50	67,00
TiO ₂	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Al ₂ O ₃	18,50	17,90	18,70	18,20	18,20	18,30	18,20	18,00
Fe ₂ O _{3t}	0,06	0,75	0,20	0,62	0,61	0,65	0,78	0,82
Fe ₂ O ₃	0,06	0,08	0,11	0,22	0,25	0,52	0,69	0,69
FeOt		0,67	0,09	0,40	0,36	0,13	0,09	0,13
FeO	-	0,60	0,08	0,36	0,32	0,12	0,08	0,12
BeO	10,10	11,28	10,10	11,08	10,80	11,31	11,22	11,12
MnO	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	0,01	0,26	0,01	0,08	< 0,01	0,07	0,01	0,13
CaO	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Na ₂ O	1,10	0,68	1,02	0,53	0,36	0,23	0,31	0,18
K ₂ O	0,05	0,03	0,10	0,16	0,02	0,04	0,02	0,02
Li ₂ O	0,23	0,03	0,26	0,04	0,07	< 0,01	< 0,01	0,03
Cs ₂ O	1,46	0,07	3,53	0,56	0,20	0,09	0,14	0,00
Rb ₂ O	0,08	0,01	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00
Ga ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
PF	2,23	2,13	2,18	1,91	2,32	2,22	2,23	2,10
Total	100,74	99,57	102,56	99,92	99,46	99,38	99,48	99,43
Si	6,246	6,182	6,202	6,198	6,234	6,178	6,189	6,220
Al	2,034	1,963	2,057	1,992	2,000	2,005	1,995	1,968
Ti	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Fe3	0,004	0,006	0,008	0,015	0,018	0,036	0,048	0,048
Be	2,265	2,523	2,266	2,473	2,421	2,528	2,508	2,480
Mg	0,001	0,036	0,001	0,011	0,001	0,010	0,001	0,018
Li	0,086	0,011	0,098	0,015	0,026	0,004	0,004	0,011
Fe2	0,000	0,047	0,006	0,028	0,025	0,009	0,006	0,009
Mn	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Na	0,199	0,123	0,185	0,095	0,065	0,041	0,056	0,032
Ca	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
K	0,006	0,004	0,012	0,019	0,002	0,005	0,002	0,002
Cs	0,058	0,003	0,141	0,022	0,008	0,004	0,006	0,000
Rb	0,005	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000
Ga	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000
cátions	10,906	10,902	10,981	10,872	10,806	10,825	10,820	10,791

continua

continuação

amostra	5648	5649a	5649morg	5651	5666	5635	5636	5658
pegmatito	J.Pereira	J.Pereira	J.Pereira	J.Pereira	J.Pereira	Marcial	Marcial	Doca H
SiO ₂	66,90	66,90	66,70	66,50	67,00	66,60	66,70	66,50
TiO ₂	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Al ₂ O ₃	18,60	18,10	18,30	18,20	18,40	18,70	18,40	18,50
Fe ₂ O ₃ t	0,33	0,66	0,11	0,53	0,54	0,18	0,47	0,59
Fe ₂ O ₃	0,26	0,26	0,07	0,31	0,18	0,09	0,25	0,19
FeOt	0,07	0,40	0,04	0,22	0,36	0,09	0,22	0,40
FeO	0,06	0,36	0,04	0,20	0,32	0,08	0,20	0,36
BeO	10,23	11,07	10,08	10,74	10,89	11,11	11,30	11,17
MnO	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
MgO	< 0,01	0,06	0,18	0,07	0,05	< 0,01	0,04	0,02
CaO	< 0,01	< 0,01	0,69	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01
Na ₂ O	1,13	0,42	0,75	0,64	0,44	0,27	0,12	0,21
K ₂ O	0,09	0,03	0,05	0,10	0,03	0,31	0,02	0,02
Li ₂ O	< 0,01	0,04	0,15	0,05	< 0,01	0,01	< 0,01	0,02
Cs ₂ O	0,53	0,10	3,45	0,06	0,08	0,45	0,06	0,05
Rb ₂ O	0,03	0,02	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
Ga ₂ O ₃	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
PF	1,84	2,10	2,10	2,12	2,12	2,01	2,10	2,12
Total	99,74	99,54	102,66	99,07	99,62	99,71	99,27	99,25
Si	6,241	6,218	6,223	6,220	6,224	6,187	6,195	6,189
Al	2,043	1,981	2,011	2,005	2,013	2,046	2,013	2,028
Ti	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Fe3	0,018	0,018	0,005	0,022	0,013	0,006	0,017	0,013
Be	2,292	2,472	2,259	2,413	2,430	2,479	2,521	2,497
Mg	0,001	0,008	0,025	0,010	0,007	0,001	0,006	0,003
Li	0,004	0,015	0,056	0,019	0,004	0,004	0,004	0,007
Fe2	0,005	0,028	0,003	0,016	0,025	0,006	0,016	0,028
Mn	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Na	0,204	0,076	0,136	0,116	0,079	0,049	0,022	0,038
Ca	0,001	0,001	0,069	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
K	0,011	0,004	0,006	0,012	0,004	0,037	0,002	0,002
Cs	0,021	0,004	0,137	0,002	0,003	0,018	0,002	0,002
Rb	0,002	0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ga	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001
cátions	10,846	10,829	10,937	10,840	10,807	10,838	10,802	10,812

Figura 40 - Relação c/a de 49 cristais de berilo de 18 pegmatitos da área estudada, destacando-se os vários tipos de berilo, baseando-se nas classificações de Bakakin et al. (1970) e Aurisicchio et al. (1994).

Quanto aos dados microtermométricos, as temperaturas do ponto eutético das soluções (Te), para a amostra 5540 da zona gráfica, apresentaram uma ampla faixa de variação (-43 a -19°C), com os seguintes picos de maiores frequências: (a) entre -24 e -19°C, indicativo do sistema H₂O - NaCl - KCl; (b) entre -36 a -30°C sugerindo a presença dos sistemas H₂O - FeCl₂, H₂O - NaCl - FeCl₂ ou mesmo H₂O - NaCl - FeCl₂ - FeCl₃, segundo dados de Borisenko (1978); (c) entre -40 e -37°C, sugerindo a presença adicional de Ca²⁺ no sistema, presença de apatita no pegmatito, responsável pelo decréscimo das temperaturas eutéticas. Essas variações composicionais poderiam ter sido causadas por modificações nas inclusões originais devido ao aporte posterior de fluidos mais evoluídos. As diferenças observadas poderiam ser decorrentes de problemas de metaestabilidade devidas ao aumento da pressão interna das inclusões com o resfriamento, o que implicaria num decréscimo das temperaturas eutéticas e de fusão final do gelo, como discutem Goldstein e Reynolds (1994). Considerando-se esta última hipótese, apenas estaria envolvido um sistema essencialmente composto por H₂O - NaCl - KCl, sendo os valores mais baixos do eutético referentes aos processos discutidos acima.

Os valores das temperaturas de fusão do gelo (Tfg), para a mesma amostra, variaram entre -3,5 e -2,0°C, evidenciando, numa primeira aproximação, que as soluções possuem baixas salinidades, equivalentes à 3,3 - 5,6% em peso do NaCl. As temperaturas de homogeneização total (Tht) do fluido situaram-se em uma faixa estreita, com um número máximo de medidas entre 200 e 230°C. Esses valores seriam indicativos das temperaturas mínimas de aprisionamento das inclusões e da cristalização do berilo.

As Te da amostra 5542 pertencente à zona intermediária, apresentaram variações semelhantes às da amostra anterior. As Tfg apresentaram variações de -4,0 a -1,5°C, com intervalo de maior frequência situado entre -3,5 e -2,5°C, indicando salinidades equivalentes a 4,1 - 4,9% em peso do NaCl. As Tht do fluido mostraram uma faixa mais ampla de variação, situando-se entre 130 e 220°C, com valores ligeiramente inferiores aqueles obtidos para o caso da zona gráfica. Os resultados indicam a diminuição da temperatura de cristalização em direção ao núcleo do corpo pegmatítico.

Novamente os valores dos Te, para a mostra 5541 do corpo de substituição, encontram-se nos intervalos discutidos acima, principalmente entre -24 e -19°C e, em quantidade bastante superior, entre -46 e -39°C. As Tfg situaram-se principalmente entre -4,0 e -2,5°C, mostrando soluções com salinidades equivalentes à 4,1 - 6,4% em peso do NaCl. As Tht do fluido situaram-se em três intervalos distintos, a saber: de 180 a 230°C, no caso das inclusões de maiores

dimensões orientadas paralelamente ao eixo *c* do cristal hospedeiro; de 130 a 200°C, nas inclusões fluidas de orientações aleatórias em relação ao eixo *c* do berilo; de 100 a 270°C, em planos de inclusões fluidas cuja distribuição sugere uma origem pseudo-secundária.

No decorrer deste trabalho, a espectroscopia de absorção no infravermelho (FTIR - infravermelho por transformada de Fourier) foi usada, basicamente, para a identificação dos grupamentos moleculares presentes nas inclusões fluidas de berilo, tais como, água do tipo I e II, gás carbônico e hidrocarboneto, fornecendo também dados para determinação dos politipos de berilo.

Os espectros de absorção no infravermelho foram obtidos a partir de um espectrofotômetro BOMEM/HARTMANN & BRAUN, modelo MB100C23 com detector MCT, pertencente ao CECOR/EBA/UFG. Os espectros foram tomados na região de 5.300 a 250cm⁻¹, com uma resolução de 4cm⁻¹. As leituras das bandas foram obtidas por um *software* determinado *Win-Bomem Easy*, versão 3.01C.

A maioria dos diagramas de espectroscopia no infravermelho de 60 amostras de berilo do Campo de Marilac mostrou, em ordem decrescente de quantidade de fluidos (Figura 41), H₂O do tipo I (definida como aquela cujo eixo de simetria binário da molécula é perpendicular ao eixo senário do cristal) predominante sobre a do tipo II (molécula de água cujo eixo binário é paralelo ao eixo senário do cristal), ocorrendo ainda entre os componentes fluidos o CO₂, segundo em abundância, e por último, raramente CH₄. O material estudado difere daquele berilo do Distrito de Santa Maria de Itabira em Minas Gerais, por conter valores maiores de CO₂ e CH₄ (Marciano *et al.* 1994, César-Mendes *et al.* 1998). Os valores para os comprimentos de onda das bandas de estiramento das ligações anelares de Si-O-Si ($\cong 1.200\text{cm}^{-1}$) e Be-O ($\cong 800\text{cm}^{-1}$) estão representados na Figura 42.

Os gráficos 1 e 2 (Figura 43) exibem os valores para os comprimentos de onda das bandas de estiramento das ligações anelares de Si-O-Si ($\cong 1.200\text{cm}^{-1}$) e Be-O ($\cong 800\text{cm}^{-1}$), respectivamente, relacionadas à razão c_0/a_0 . Todas as amostras destes pegmatitos ocorrem abaixo de 1.200cm^{-1} , não correspondendo a expectativa de Aurisicchio *et al.* (1994) para os cristais de berilo tetraédricos que deveriam aparecer acima deste valor (gráfico 1). No gráfico 2 observa-se que o comprimento das ligações químicas, que refletem a substituição ocorrida nos cristais, está de acordo com o descrito por Aurisicchio *et al.* (1994), com comprimentos de ondas menores para as amostras de berilo N-T e T.

Figura 41 – Diagramas de espectrografia de absorção no infravermelho de 60 cristais de berilo pertencentes a 22 pegmatitos da área estudada, destacando as bandas de absorção dos componentes fluidos contidos no hospedeiro.

Figura 42 – Diagramas de espectrografia de absorção no infravermelho de 60 cristais de berilo pertencentes a 22 pegmatitos da área estudada, destacando as bandas estiramento das ligações anelares de Si-O-Si ($\approx 1.200\text{cm}^{-1}$) e Be-O ($\approx 800\text{cm}^{-1}$)

Figura 43 – Distribuição dos berilos tetraédricos em relação às bandas de absorção das ligações Si-O-Si ($\cong 1.200\text{cm}^{-1}$) (1) e Be-O ($\cong 800\text{cm}^{-1}$) (2).

Quanto a correlação entre a análise química e o FTIR, podemos observar que a banda de estiramento 1.200cm^{-1} do anel Si-O-Si ou a vibração do tetraedro BeO_4 é afetada pela substituição do Be^{2+} no sítio tetraédrico (Auricchio *et al.* 1994). Esta mesma banda, mostra uma relação similar tanto para as porcentagens da substituição tetraédrica quanto a de cátions no canal. Na Figura 40, podemos observar que vários cristais de um mesmo pegmatito exibem politipos diferentes, ou seja, no Ipê temos os tipos N, transição entre N e T e o tipo T, como também, uma relação positiva entre a quantidade de átomos no canal com o comprimento de onda da banda em questão.

Outra relação é entre os berilos do tipo N com o conteúdo de álcalis nos canais. Para os berilos com teores de até 0,1% de álcalis nos canais, exibem bandas no intervalo de 1.205 a 1.200cm^{-1} , enquanto aqueles com valores entre 0,1 a 0,35% em álcalis, caem no intervalo de 1.180 a 1.200cm^{-1} (Figura 44). Esta correlação, porcentagens de substituição tetraédrica versus álcalis nos canais, é positiva. Observar que a escala da ordenada é negativa.

Em relação a banda de 805cm^{-1} , comprimento Be-O (Auricchio *et al.* 1994) quando comparada com as porcentagens de substituição tetraédricas e de álcalis nos canais, exibem uma correlação negativa. A faixa em 810cm^{-1} é a divisória entre cristais de berilo do tipo N e O. De 810 a 815cm^{-1} encontram-se cristais de berilo dos tipos N, N-T e T com baixa substituições octaédricas, equivalente ao tipo II de Bakakin *et al.* (1970). Os cristais de berilo do tipo T, com alta substituição tetraédrica ocorre na faixa de 815 até 827cm^{-1} (Figura 45).

Nos cristais estudados, a substituição octaédrica apresenta valores abaixo de 4% (Figura 46), existindo muitas amostras, principalmente, as róseas e incolores, com valor zero para esta substituição.

Estas constatações possibilitam conhecer semiquantitativamente os teores de álcalis nos berilos, bem como a identificação do politipo por meio de FTIR.

Figura 44 - Relação entre a porcentagem de álcalis presentes nos canais com as substituições tetraédricas na banda 1.200cm⁻¹.

Figura 45 - Relação entre a porcentagem de álcalis presentes nos canais com as substituições tetraédricas na banda 805cm⁻¹.

Figura 46 - Relação entre as substituições octaédricas com a posição da banda de absorção da ligação Be-O.

Como neste método as substâncias homopolares não são detectadas, por exemplo o nitrogênio (N₂) e, sendo esta substância passível de estar presente na fase fluida, recorreu-se à espectroscopia micro-Raman. Para as amostras de berilo, estudadas por espectroscopia micro-Raman, utilizou-se as mesmas lâminas preparadas para o estudo das análises microtermométricas. O equipamento utilizado foi um espectroscópio micro-Raman DILOR, modelo XY, pertencente ao DF/ICEx/UFMG.

Em uma amostra de berilo do Pegmatito do Ipê, coletada na zona gráfica, as análises realizadas em cinco inclusões fluidas detectaram a presença de CO₂ e N₂, dissolvidos na fase vapor da solução aquosa. Esses elementos ocorrem em quantidades muito pequenas, não tendo sido possível sua identificação através dos métodos microtermométricos. Na amostra do corpo de substituição, além de H₂O, nenhum outro componente foi identificado por esse método.

7.5 - POTENCIALIDADE ECONÔMICA

O Brasil é o país que possui as maiores reservas mundiais de berilo, incluindo berilo industrial e gemológico (Crowson 1994). Durante a Segunda Grande Guerra, a Província Pegmatítica Oriental Brasileira supriu cerca de 75% das necessidades de berilo industrial dos países aliados (Metamig 1987).

O elemento berílio possui propriedades extraordinárias que se enquadram perfeitamente nas necessidades da tecnologia metalúrgica atual. As ligas obtidas a partir de cobre ou alumínio e berílio possuem excelentes propriedades, destacando-se resistência e dureza elevada, boa condutibilidade termo-elétrica, resistência a corrosão, etc. Estas ligas são aplicadas na produção desde aparelhos de raios X, lâmpadas fluorescentes e de neon, computadores e em cerâmicas especiais. É empregado como refratário em reatores atômicos, revestimentos de navios, mísseis, espaçonaves e aviões supersônicos (Netto *et al.* 1999)

Os pegmatitos estudados portadores de mineralizações de berilo têm grande importância econômica podendo ser utilizados na indústria cerâmica, porém raramente são produtores de gemas ou peças de coleção. Atualmente o berilo industrial está com preço de mercado muito baixo, por volta de US\$0.50/kg. Como os pegmatitos estudados não possuem berilos de natureza gemológicos, a exploração desse mineral está interrompida.

8 - NIÓBIO-TANTALATOS

Os nióbio-tantalatos compreendem uma gama muito grande de minerais, mais de uma centena segundo Cerný (1975a), distribuídos entre várias classes de minerais, como por exemplo, boratos, silicatos e óxidos, sendo esta última a mais importante, pois ocorre em diversos ambientes geológicos.

De acordo com Cerný & Ercit (1989), os óxidos de Nb possuem uma ocorrência de filiação anorogênica/alcalina como nos carbonatitos, gabros, granitos alcalinos e pegmatitos tipicamente associados com Ti, Zr, Y e ETR. As rochas potenciais para Nb e Ta são os granitos peraluminosos e cálcio-alcalinos pós-orogênicos a tarditectônicos, associados com Li, Sn e W. Os pegmatitos mineralizados a elementos raros, tais como Li, Rb, Cs, Be, Sn e B, também são fonte de Ta.

Um dado que fornece informações quanto à possível gênese de um corpo pegmatítico é o estado estrutural dos nióbio-tantalatos, um fenômeno chamado ordem-desordem. A Figura 47 exibe as estruturas do tipo ordenado e desordenado dos nióbio-tantalatos e ainda a da ixiolita, enquanto a Tabela 35 apresenta as características cristalográficas dos dois politipos, segundo Adusumilli (1978). De um modo geral, este fenômeno está relacionado principalmente com a temperatura de formação do cristal, como também com as impurezas presentes na sua estrutura. Para Cerný *et al.* (1986), no caso dos nióbio-tantalatos, esse fenômeno sugere uma cristalização de todas as fases em um estado desordenado, ocorrendo um subsequente ordenamento no estado sólido, em função da velocidade de resfriamento do corpo pegmatítico. Estes autores mostraram que nos pegmatitos residuais de granitos, existe uma relação entre o estado estrutural dos nióbio-tantalatos e a distância do pegmatito em relação à intrusão granítica. Para os pegmatitos encaixados em granitos, os nióbio-tantalatos possuem estrutura ordenada. Já nos corpos próximos ao corpo granítico, variam de ordenada a desordenada, enquanto nas faixas pegmatíticas mais distantes do plúton granítico fonte, ocorre somente nióbio-tantalatos com estrutura desordenada.

Figura 47 - Estrutura dos nióbio-tantalatos segundo Adusumilli (1978). Em a) observa-se a forma ordenada; b) a forma desordenada com a malha semelhante a da ixiolita representada em (c).

De um modo geral, as columbitas ocorrem em pegmatitos simples, havendo um enriquecimento em tântalo, até o aparecimento de tantalitas em corpos complexos. Via de regra, os pegmatitos simples estão associados a ambientes anatéticos enquanto os complexos estão diretamente relacionados a granitos. Assim sendo, é possível através de certas correlações, como por exemplo, densidade relativa (cálculo expedito) juntamente com a difração de raios X de nióbio-tantalatos, inferir a presença de corpos graníticos numa determinada área, pois através da densidade pode-se chegar aos teores aproximados de Ta_2O_5 e Nb_2O_5 , e dessa forma calcular a razão Nb/Ta. Esta razão é mais elevada nos pegmatitos a elementos raros. A difração de raios X permite o cálculo dos parâmetros da cela unitária e a determinação dos politipos.

Tabela 35 - Características das formas ordenadas e desordenada da série ferrocolumbita-tantalita, segundo Adusumilli (1978).

TIPO I (forma desordenada)	TIPO II (forma ordenada)
Fe, Mn, Nb e Ta repartidos estatisticamente no conjunto de posições estruturais A e B.	Fe e Mn em determinados <i>locus</i> (A) diferentes dos <i>locus</i> (B) ocupados por Nb e Ta.
Menor número de linhas nos padrões de difração.	Grande número de raiais de difração, notadamente as que correspondem aos planos reticulares: 020 ($d=7,14$); 110 ($d=5,27$); 220 ($d=2,66$) e 240 ($d=2,238$).
Diagramas de pó semelhantes aos da ixiolita e da fase artificial Mn-Ta-O, (Mn:Ta=1:2) a 750°C.	Diagramas de pó semelhantes aos de manganotantalitas.
b_o pode ser considerado como 1/3 do valor de b_o do tipo II.	b_o aproximadamente igual a 14,238Å.
---	Brilho resinoso; reflexões internas abundantes em seções polidas.
Por aquecimento a 1.050°C durante 48h dá origem a 2 fases (seções polidas); os diagramas de pó são idênticos ao tipo II.	---

8.1 - NIÓBIO-TANTALATOS DO CAMPO PEGMATÍTICO DE MARILAC

Na área onde estão inseridos os pegmatitos estudados, dos 44 corpos descritos, foram amostrados 24 cristais de nióbio-tantalatos. Poucas são as amostras que se apresentam com formas subédricas, a maioria se mostra anédrica.

De acordo com Gandini *et al.* (1998a), a densidade relativa destes nióbio-tantalatos varia entre 5,69 e 7,82 (Tabela 36). Lançando os valores do peso específico no gráfico de George (1949, *in* Adusumilli 1976), as amostras desta área foram classificadas em vários grupos distintos.

Tabela 36 - Amostras de nióbio-tantalatos da região do Campo Pegmatítico de Marilac, Governador Valadares, com suas densidades e minerais associados.

Lavra	nº da amostra	Massa (g)	Densidade Relativa	Contaminantes
Ipê	5573A*	48,94	5,98	-
	5573B	28,41	6,02	feldspato
	5573C	28,74	6,03	feldspato
	5573D	22,58	5,85#	feldspato
	5573E	12,71	5,97#	pouco feldspato
	5573F	7,28	6,25	feldspato
	5573G	4,08	6,04	feldspato
Ferreirinha I	2237 ⁺	-	5,51	-
	2271 ⁺	-	6,75	-
	2525 ⁺	-	5,59	-
Olho-de-Gato	1477 ⁺	-	5,65	-
	1468 ⁺	-	5,54	-
	5577A**	260,22	6,76	mica clara, quartzo
	5577B	214,22	6,76	mica clara, quartzo
J. Lima II (Faria II)	5620A	42,10	6,25	mica clara
	5620B	39,40	6,48	mica clara
J. Lima I (Faria I)	5774A	32,30	5,97#	pouca albíta, mica clara
	5774B	8,80	6,14	pouca albíta, mica clara
Faz. Japonesa	5661	83,1	6,61	-
Golconda III	5664	26,7	5,69	-
Golconda I	5664	214,60	7,22	berilo, quartzo, albíta, mica clara
Escondido	5683	178,50	6,50	albíta ou quartzo?
Toninho	5655	5,9	6,33#	mica, albíta
Alberto	5639	31,9	6,09	< mica
Rames	5652	25,9	5,75	mica/albíta
José	5648A	526,6	7,82	-
Pereira ***	5648B	24,7	-	> albíta
	5648C	14,4	7,76	-
Doca e Helder	5658A	53,1	6,78	quartzo, mica
	5658B	83,8	7,57	< mica

* as amostras são anédricas e maciças, sendo que uma delas apresenta faces do prisma ortorrômbico.

** a amostra fragmentou-se, sendo fotografado o fragmento de maior valor de massa. A amostra é iridescente e possui um hábito tabular (Fotografia 11).

*** Todas as amostras, numa pequena área, apresentam diafaneidade translúcida com uma cor avermelhada (Fotografia 12).

cálculo da densidade em amostra com associação de minerais interdigitados (columbíta+albíta?)

qzt - quartzo

+ Marciano (1985)

Fotografia 11 - Amostra (5577A, 260,22g) de nióbio-tantalato exibindo iridescência, proveniente da Lavra Olho-de-Gato.

Fotografia 12 - Exemplar de tantalita com diáfaneidade translúcida de aspecto avermelhado. Amostra 5648A, pesando 526,6g, procedente da Lavra do José Pereira.

A maior parte (54,17%) corresponde à tântalo-columbita; 25% à columbo-tantalita; 4,16% à columbita e 16,67% à tantalita (Figura 48). Esta figura foi construída com valores crescentes de densidade sem contudo obedecer uma ordem dos pegmatitos na área estudada. Tal classificação foi baseada nos dados de Beugnies & Mozafari (1968), Adusumilli (1976) e Adusumilli (1978).

Figura 48 - Valores de densidade relativa de 24 amostras de nióbio-tantalatos pertencente a 13 lavras do Campo Pegmatítico de Marilac. Por questões visuais, o gráfico foi construído com valores crescentes de densidade não obedecendo uma ordem dos pegmatitos na área estudada. Os limites de separação dos nióbio-tantalatos (5,20 - 5,70 - 6,35 - 7,05 - 7,95) são de Beugnier & Mozafari (1968) e os valores de x de Adusumilli (1976).

Os espécimes de nióbio-tantalatos tiveram os seus teores de Nb e Ta estimado de acordo com o gráfico de George (1949, *in* Adusumilli 1976) a partir das densidades, cujos valores variaram entre 5,69 a 7,82. A partir destes dados, foram obtidos os teores de Ta_2O_5 entre 13,8 e 80% e os de Nb_2O_5 entre 27 e 64,8%.

As amostras estudadas por Marciano (1985) e Gandini *et al.* (1998a) apresentam razões Nb/Ta (Tabela 37), que comparadas com os dados publicados por Cerný (1989b), permitem as generalizações listadas a seguir.

Tabela 37 - Valores de Nb_2O_5 e de Ta_2O_5 estimados a partir das densidades com base no diagrama de George (1949, in Adusumilli 1976) de amostras de nióbio-tantalatos do Campo Pegmatítico de Marilac, Governador Valadares. A tabela foi construída com os valores crescentes de densidade.

Nº da amostra	Lavra	Código da amostra	Densi- dade Relativa	Nb_2O_5 (%)	Ta_2O_5 (%)	$x = \frac{100 \cdot Ta_2O_5}{Ta_2O_5 + Nb_2O_5}$	Nb (%)	Ta (%)	Nb/Ta
1	Golc. III	5664	5,69	64,8	13,8	17,56	45,30	11,30	4,01
2	Rames	5652	5,75	63,0	15,0	19,23	44,04	12,28	3,58
3	Ipê	5573D	5,85	59,0	19,0	24,36	41,24	15,56	2,65
4	J. Lima I	5774A	5,97	54,0	23,0	29,87	37,75	18,84	2,00
5	Ipê	5573E	5,97	54,0	23,0	29,87	37,75	18,84	2,00
6	Ipê	5573A	5,98	53,0	24,0	31,17	37,05	19,66	1,88
7	Ipê	5573B	6,02	52,8	25,8	32,82	36,91	21,13	1,75
8	Ipê	5573C	6,03	52,0	26,0	33,33	36,35	21,29	1,71
9	Ipê	5573G	6,04	51,0	27,0	34,62	35,65	22,11	1,61
10	Alberto	5639	6,09	50,0	28,0	35,90	34,95	22,93	1,52
11	J. Lima I	5774B	6,14	48,0	30,0	38,46	33,55	24,57	1,37
12	Ipê	5573F	6,25	45,0	34,0	43,04	31,46	27,84	1,13
13	J. Lima II	5620A	6,25	45,0	34,0	43,04	31,46	27,84	1,13
14	Toninho	5655	6,33	43,0	36,0	45,57	30,06	29,48	1,02
15	J. Lima II	5620B	6,48	38,0	42,0	52,50	26,56	34,40	0,77
16	Escond.	5683	6,50	36,0	44,0	55,00	25,17	36,03	0,70
17	Faz. Jap.	5661	6,61	34,0	47,0	58,02	23,77	38,49	0,62
18	O. Gato	5577A	6,76	28,0	53,0	65,43	19,57	43,40	0,45
19	O. Gato	5577B	6,76	28,0	53,0	65,43	19,57	43,40	0,45
20	Doca/H.	5658A	6,78	27,0	54,0	66,67	18,87	44,22	0,43
21	Golc. I	5775	7,22	12,0	68,0	85,00	8,39	55,69	0,15
22	Doca/H.	5658B	7,57	?	76,0	-		62,24	-
23	J. Pereira	5648C	7,76	?	79,0	-		64,70	-
24	J. Pereira	5648A	7,82	?	80,0	-		65,52	-

1) 58,62% das amostras apresentam razão Nb/Ta maior do que 1,2, o que não permite enquadrá-las na classe de pegmatitos a elementos raros, podendo ser portanto das classes a muscovita ou de pegmatitos estéreis.

2) 27,59% das amostras apresentam razões Nb/Ta entre 1,1 e 0,3, o que permite classificá-las na classe dos pegmatitos a elementos raros do subtipo berilo (berilo-ferrocolumbita).

3) As 13,79% restantes exibem razões Nb/Ta menores do que 0,3, o que em princípio permite colocá-las na mesma classe das anteriores, porém no subtipo complexo.

Como há superposição dos campos (Cerný 1989b), a maioria das amostras estudadas foram classificadas como pertencentes à classe a muscovita.

Na área do Campo Pegmatítico de Marilac, o teor de tântalo aumenta da mesma maneira que a complexidade mineralógica, de sudoeste para nordeste da área, porém não de uma maneira linear. Nesta região se destacam duas populações de pegmatitos, onde em uma ocorre, preferencialmente, ferrocolumbita e na outra tantalita (Figura 49). A Tabela 38 ilustra a composição química de algumas ferrocolumbita-tantalita da área estudada.

Além das reflexões de alguns planos cristalográficos correspondentes à manganocolumbita, os dados de difração de raios X (Tabela 39) mostraram que a maioria das amostras são ferrocolumbita ordenadas com graus diferentes de ordenação (Gandini *et al.* 1998a). Manganotantalita avermelhada, com até 8cm de comprimento, são raras sendo encontradas apenas na Lavra do José Pereira (Fotografia 11). As amostras apresentam, visualmente, um zoneamento composicional que pode ser comprovado através da difração de raios X, fato confirmado pelas análises de seções polidas (Fotomicrografias 1 e 2). Columbo-tantalitas da Lavra Olho-de-Gato exibem inclusões de cassiterita e ixiolita, ambas identificadas por difração de raios X.

Figura 49 - Lavras do Campo Pegmatítico de Marilac com as ocorrências dos nióbio-tantalatos. CB - Complexo Basal; CM - Complexo Mantiqueira; FST - Formação São Tomé.

Tabela 38 - Análises químicas por microscopia eletrônica de varredura de alguns cristais de nióbio-tantalatos do Campo Pegmatítico de Marilac. O número de cátions resultantes foi calculado sobre 24 átomos de oxigênio. (b- borda, c- centro, i- inclusão, z- zonamento). A soma total, idealizada em 100%, é apenas uma consequência da padronização do equipamento em relação ao número de elementos escolhidos.

ÓXIDOS Análises	IPÊ - 5573A					
	1 b	2 b	3 c	4 b	5 b	6 c
WO ₃	2,23	4,53	1,47	0,00	3,50	2,89
Nb ₂ O ₅	48,85	43,50	49,23	53,84	48,33	49,17
Ta ₂ O ₅	26,42	25,88	24,98	22,00	25,54	25,55
P ₂ O ₅	0,00	0,20	0,00	2,86	0,00	0,17
TiO ₂	1,52	1,00	1,02	0,60	1,01	0,67
SnO ₂	0,13	0,00	0,33	0,00	0,34	0,00
ZrO ₂	1,82	1,60	2,13	0,00	1,40	0,00
ThO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	0,00	0,97	0,00	0,00	0,78	0,89
FeO	10,38	9,17	11,87	10,25	11,78	10,54
MnO	3,54	3,08	3,98	3,46	2,81	3,35
MgO	0,21	0,23	0,19	0,42	0,21	0,37
CaO	0,24	0,05	0,00	0,06	0,00	0,00
PbO	0,00	0,90	0,20	0,98	0,93	0,85
ZnO	0,16	0,00	0,25	0,19	0,18	0,00
K ₂ O	0,09	0,32	0,03	0,14	0,45	0,35
Na ₂ O	0,00	0,52	0,00	0,14	0,24	0,00
Cs ₂ O	2,79	6,60	3,76	2,83	2,49	3,05
F	1,62	1,44	0,56	2,23	0,00	2,14
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂						
W	0,150	0,325	0,099	0,000	0,237	0,197
Nb	5,734	5,443	5,820	6,036	5,706	5,846
Ta	1,865	1,948	1,776	1,483	1,814	1,827
P	0,000	0,047	0,000	0,600	0,000	0,039
Ti	0,296	0,209	0,200	0,111	0,199	0,132
Sn	0,013	0,000	0,034	0,000	0,035	0,000
Zr	0,230	0,216	0,271	0,000	0,179	0,000
Th	nd	nd	nd	nd	nd	nd
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	0,000	0,143	0,000	0,000	0,109	0,125
Fe	2,253	2,122	2,597	2,125	2,572	2,317
Mn	0,778	0,721	0,882	0,726	0,622	0,746
Mg	0,082	0,095	0,075	0,157	0,084	0,144
Ca	0,068	0,014	0,000	0,016	0,000	0,000
Pb	0,000	0,067	0,014	0,065	0,066	0,060
Zn	0,054	0,000	0,083	0,062	0,060	0,000
K	0,046	0,172	0,016	0,069	0,227	0,178
Na	0,000	0,061	0,000	0,015	0,027	0,000
Cs	2,292	5,779	3,113	2,220	2,054	2,540
F	0,120	0,114	0,042	0,158	0,000	0,161
TOTAL	13,982	17,477	15,023	13,844	13,991	14,312

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (4) - U (2, 3, 5) - avaliado para todas.

continuação

IPÊ - 5573B								
ÓXIDOS	1 b	2 b	3 i	4 c	5 b	6 z	7 b	8 c
Análises								
WO ₃	0,44	0,00	0,35	1,37	0,52	0,00	0,00	0,00
Nb ₂ O ₅	46,77	44,83	45,13	46,92	45,74	42,85	46,28	45,69
Ta ₂ O ₅	18,65	19,38	18,73	18,08	20,05	18,14	19,78	21,31
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
TiO ₂	0,78	0,90	0,80	0,79	0,69	0,88	0,70	0,94
SnO ₂	0,24	0,00	0,27	0,07	0,00	0,00	0,25	0,18
ZrO ₂	1,39	1,85	1,75	1,61	1,22	0,85	1,58	0,84
ThO ₂	0,00	0,00	0,74	0,05	0,12	0,00	0,00	0,40
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	9,22	11,04	9,15	9,45	9,21	13,14	9,47	8,72
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	1,57	0,90	0,84	0,59	0,46	0,26	0,92	0,85
FeO	10,36	10,12	10,30	10,49	9,77	2,41	10,13	10,47
MnO	3,24	3,66	3,33	3,01	4,09	9,06	2,96	2,88
MgO	0,00	0,16	0,10	0,18	0,18	0,00	0,22	0,05
CaO	0,00	0,02	0,12	0,00	0,00	0,16	0,01	0,00
PbO	0,88	0,72	1,03	0,73	0,99	5,14	0,87	0,35
ZnO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
K ₂ O	0,00	0,00	0,11	0,01	0,00	0,00	0,04	0,04
Na ₂ O	0,16	0,31	0,12	0,06	0,35	0,44	0,41	0,08
Cs ₂ O	0,36	0,40	0,27	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00
F	5,93	5,72	6,87	6,56	6,63	6,65	6,34	7,20
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂								
W	0,027	0,000	0,022	0,085	0,033	0,000	0,000	0,000
Nb	5,066	4,760	4,963	5,068	4,998	4,598	5,011	5,045
Ta	1,215	1,238	1,239	1,175	1,318	1,171	1,288	1,415
P	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
Ti	0,141	0,159	0,146	0,142	0,126	0,156	0,126	0,172
Sn	0,023	0,000	0,027	0,007	0,000	0,000	0,024	0,018
Zr	0,162	0,212	0,207	0,188	0,144	0,099	0,185	0,100
Th	0,000	0,000	0,041	0,003	0,006	0,000	0,000	0,022
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	2,209	2,592	2,225	2,257	2,226	3,119	2,269	2,130
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	0,200	0,112	0,109	0,075	0,059	0,033	0,117	0,110
Fe	2,075	1,987	2,095	2,096	1,974	0,478	2,030	2,138
Mn	0,657	0,729	0,686	0,609	0,836	1,821	0,600	0,596
Mg	0,000	0,054	0,036	0,064	0,063	0,000	0,079	0,018
Ca	0,000	0,004	0,031	0,000	0,000	0,042	0,002	0,000
Pb	0,057	0,046	0,067	0,047	0,065	0,329	0,056	0,023
Zn	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
K	0,000	0,000	0,033	0,004	0,000	0,000	0,013	0,014
Na	0,073	0,142	0,056	0,030	0,164	0,203	0,189	0,037
Cs	0,037	0,040	0,028	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000
F	4,496	4,249	5,285	4,956	5,067	4,993	4,802	5,564
TOTAL	16,440	16,324	17,296	16,806	17,079	17,045	16,793	17,402

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (1, 5, 7) - U(3, 4, 6, 7) - avaliado para todas.

continuação

ÓXIDOS		IPÊ - 5573C					
Análises	1 c	2 i	3 b	4 c	5 b	6 i	7 b
WO ₃	0,00	11,30	0,00	0,99	2,28	0,58	0,00
Nb ₂ O ₅	47,25	48,62	48,86	47,86	47,10	51,25	47,87
Ta ₂ O ₅	26,31	24,42	25,21	23,49	24,62	24,32	24,75
P ₂ O ₅	0,00	0,35	0,52	0,65	0,16	0,00	0,00
TiO ₂	0,93	0,74	0,80	1,13	0,80	1,18	0,71
SnO ₂	0,27	0,25	0,00	0,048	0,52	0,00	0,05
ZrO ₂	1,72	0,74	0,00	0,00	1,11	0,84	1,55
ThO ₂	0,08	0,07	0,00	0,40	0,15	0,65	0,26
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	0,98	0,80	1,37	0,82	0,48	1,39	0,42
FeO	11,06	11,89	12,11	11,91	11,69	12,39	11,25
MnO	3,48	3,59	3,17	3,54	3,51	3,51	4,11
MgO	0,15	0,26	0,36	0,23	0,29	0,19	0,38
CaO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00
PbO	1,05	0,77	0,60	1,17	1,00	0,35	1,14
K ₂ O	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00
Na ₂ O	0,16	0,06	0,06	0,19	0,01	0,27	0,10
Cs ₂ O	0,00	0,00	0,36	0,50	0,00	0,41	0,22
SO ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
F	6,49	6,09	6,58	6,68	6,30	2,50	7,19
TOTAL	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
a.f.u. - 24 O ₂							
W	0,000	0,090	0,000	0,069	0,160	0,039	0,000
Nb	5,805	5,882	5,929	5,835	5,762	5,972	5,908
Ta	1,944	1,777	1,841	1,723	1,812	1,704	1,838
P	0,000	0,080	0,118	0,149	0,037	0,000	0,000
Ti	0,190	0,149	0,161	0,228	0,162	0,229	0,146
Sn	0,030	0,027	0,000	0,048	0,056	0,000	0,005
Zr	0,227	0,097	0,000	0,000	0,147	0,106	0,206
Th	0,005	0,004	0,000	0,024	0,009	0,038	0,016
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	0,142	0,114	0,196	0,117	0,069	0,191	0,062
Fe	2,514	2,661	2,719	2,685	2,645	2,670	2,568
Mn	0,801	0,814	0,721	0,807	0,803	0,767	0,949
Mg	0,062	0,103	0,144	0,091	0,118	0,074	0,155
Ca	0,010	0,000	0,041	0,058	0,000	0,045	0,025
Pb	0,076	0,056	0,044	0,085	0,073	0,024	0,084
K	0,008	0,010	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000
Na	0,087	0,032	0,029	0,098	0,003	0,135	0,10
Cs	0,000	0,000	0,041	0,058	0,000	0,045	0,025
S	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
F	5,582	5,152	5,583	5,699	5,390	2,042	6,209
TOTAL	17,483	17,048	17,526	17,718	17,246	14,081	18,224

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (4, 6, 7) - U (1, 2, 5, 7) avaliado para todas.

continuação

IPÊ - 5573D											
ÓXIDOS	1 b	2 i	3 c	4 i	5 i	6 b	7 b	8 z	9 b	10 c	11 b
Análises											
WO ₃	0,00	0,74	0,00	2,25	0,00	1,20	0,00	0,46	2,11	1,19	0,62
Nb ₂ O ₅	50,46	16,51	50,12	18,20	21,29	44,10	50,53	32,98	48,04	49,38	50,90
Ta ₂ O ₅	22,89	52,99	23,26	53,14	43,28	29,67	23,56	40,01	25,14	22,99	21,65
P ₂ O ₅	0,00	0,06	0,00	0,45	0,17	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	0,81	3,20	0,83	2,57	2,12	0,83	0,67	0,94	0,73	0,96	0,78
SnO ₂	0,00	0,00	0,24	0,00	0,00	0,14	0,00	0,59	0,00	0,00	0,25
ZrO ₂	1,49	1,81	1,57	0,50	0,63	0,00	1,59	1,25	1,39	1,25	1,17
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UO ₂	nd	nd	nd	traços	traços	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	1,50	4,17	1,33	3,15	3,39	1,45	1,00	2,64	1,39	1,36	0,84
FeO	11,69	0,33	11,78	0,33	2,21	12,50	11,47	8,08	10,76	11,64	11,79
MnO	3,55	0,21	3,25	0,08	1,95	4,40	3,38	3,82	3,47	3,36	3,84
MgO	0,15	1,10	0,18	0,12	0,13	0,12	0,26	0,06	0,15	0,10	0,14
CaO	0,04	12,93	0,00	10,86	1,54	0,01	0,00	0,16	0,00	0,03	0,00
PbO	1,44	0,35	1,11	0,23	21,21	0,58	1,32	3,13	1,07	1,23	1,24
K ₂ O	0,00	0,00	0,11	0,00	0,20	0,00	0,01	0,13	0,00	0,00	0,09
Na ₂ O	0,14	2,18	0,19	3,99	0,52	0,15	0,20	0,00	0,16	0,04	0,01
Cs ₂ O	0,38	0,31	0,29	0,33	0,00	0,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
SO ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
F	5,44	3,10	5,73	3,81	1,38	3,83	6,02	5,76	5,58	6,45	6,46
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂											
W	0,000	0,055	0,000	0,170	0,000	0,083	0,000	0,035	0,147	0,083	0,043
Nb	6,075	2,145	6,043	2,396	3,207	5,338	6,100	4,406	5,843	6,002	6,159
Ta	1,658	4,140	1,687	4,208	3,922	2,161	1,711	3,215	1,839	1,681	1,576
P	0,000	0,015	0,000	0,110	0,047	0,153	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,162	0,691	0,166	0,563	0,531	0,166	0,134	0,208	0,149	0,195	0,156
Sn	0,000	0,000	0,026	0,000	0,000	0,015	0,000	0,069	0,000	0,000	0,026
Zr	0,194	0,254	0,205	0,071	0,102	0,000	0,206	0,180	0,182	0,164	0,152
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	0,213	0,637	0,188	0,488	0,601	0,207	0,142	0,415	0,199	0,194	0,119
Fe	2,604	0,079	2,627	0,081	0,617	2,798	2,562	1,996	2,420	2,617	2,640
Mn	0,801	0,052	0,734	0,019	0,550	0,999	0,765	0,956	0,791	0,765	0,871
Mg	0,061	0,471	0,073	0,051	0,063	0,050	0,103	0,027	0,060	0,042	0,056
Ca	0,011	3,981	0,000	3,389	0,549	0,002	0,000	0,052	0,000	0,010	0,000
Pb	0,103	0,027	0,079	0,018	1,903	0,042	0,095	0,249	0,078	0,089	0,090
K	0,000	0,000	0,038	0,000	0,084	0,000	0,003	0,050	0,000	0,000	0,030
Na	0,073	1,215	0,100	2,253	0,335	0,078	0,104	0,000	0,083	0,023	0,006
Cs	0,043	0,038	0,033	0,041	0,000	0,040	0,000	0,000	0,000	0,000	0,026
S	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
F	4,583	2,817	4,831	3,511	1,457	3,240	5,084	5,382	4,750	5,485	5,465
TOTAL	16,580	16,618	16,830	17,368	13,968	15,371	17,009	17,240	16,542	17,349	17,414

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (1, 2, 3, 4, 5, 6) - avaliado para todas.

continuação

IPÊ - 5573E												
ÓXIDOS	1 b	2 G	3 b	4 c	5 ze	6 b	7 i	8 b	9 b	10 c	11 b	12 c
Análises												
WO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	2,84	0,00	1,10	2,02	3,01	0,00	0,00	0,00
Nb ₂ O ₅	48,96	10,53	49,55	47,58	40,67	50,56	3,32	45,79	49,06	48,92	49,17	49,27
Ta ₂ O ₅	25,63	0,80	25,31	29,32	32,31	28,09	3,97	26,41	27,80	29,65	25,50	27,18
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,97	0,00	1,23	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	1,23	0,00	1,29	1,17	0,77	1,28	0,00	0,90	0,75	0,69	0,91	0,86
SnO ₂	0,35	8,19	0,69	0,00	0,26	0,43	0,44	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19
ZrO ₂	2,48	7,02	0,77	1,54	0,00	0,00	72,17	1,16	0,00	0,59	0,88	0,19
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	1,61	10,26	1,42	0,23	3,81	0,24	0,00	2,21	0,00	0,06	0,73	0,90
FeO	10,88	0,42	11,30	11,82	8,07	10,58	1,41	10,69	11,60	12,30	10,53	10,09
MnO	3,51	1,04	3,18	3,59	5,40	4,21	0,07	3,18	3,60	3,52	4,48	4,46
MgO	0,07	13,71	0,00	0,36	0,30	0,21	1,46	0,08	0,47	0,26	0,48	0,52
CaO	0,01	14,53	0,00	0,03	0,00	0,20	2,23	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
PbO	1,53	4,78	1,04	0,02	0,57	0,41	1,21	1,50	0,16	0,45	1,30	1,22
K ₂ O	0,00	0,88	0,00	0,21	0,00	0,07	0,45	0,00	0,00	0,19	0,00	0,10
Na ₂ O	0,14	25,43	0,36	0,16	0,07	0,50	0,42	0,00	0,49	0,46	0,29	0,32
Cs ₂ O	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00
F	3,61	2,40	3,33	3,97	3,70	3,00	0,00	3,92	3,06	2,91	4,51	4,70
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	11,75	1,61	0,00	0,00	1,22	0,00
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂												
W	0,000	0,000	0,000	0,000	0,198	0,000	0,075	0,142	0,204	0,000	0,000	0,00
Nb	5,817	1,169	5,809	5,676	4,951	5,916	0,393	5,600	5,799	5,804	5,904	5,927
Ta	1,832	0,054	1,784	2,104	2,366	1,977	0,283	1,943	1,977	2,116	1,842	1,967
P	0,000	0,000	0,212	0,000	0,279	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,243	0,000	0,251	0,232	0,155	0,249	0,000	0,183	0,147	0,136	0,182	0,171
Su	0,036	0,802	0,071	0,000	0,028	0,045	0,046	0,000	0,000	0,000	0,000	0,020
Zr	0,318	0,840	0,097	0,198	0,000	0,000	9,223	0,153	0,000	0,075	0,114	0,025
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	nd	nd	nd	nd	nd	nd
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	0,225	1,341	0,196	0,032	0,546	0,033	0,000	0,318	0,000	0,009	0,104	0,128
Fe	2,392	0,086	2,449	2,609	1,817	2,290	0,309	2,418	2,537	2,700	2,338	2,246
Mn	0,781	0,215	0,698	0,802	1,233	0,922	0,015	0,727	0,797	0,783	1,008	1,005
Mg	0,026	5,016	0,000	0,143	0,120	0,081	0,570	0,032	0,184	0,101	0,189	0,205
Ca	0,002	3,823	0,000	0,010	0,000	0,056	0,627	0,005	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,108	0,316	0,073	0,001	0,041	0,029	0,085	0,109	0,011	0,032	0,093	0,087
K	0,000	0,276	0,000	0,072	0,000	0,024	0,152	0,000	0,000	0,063	0,000	0,034
Na	0,069	12,103	0,182	0,084	0,036	0,252	0,213	0,000	0,248	0,233	0,151	0,163
Cs	0,000	0,000	0,089	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060	0,000	0,000	0,000	0,000
F	3,002	1,867	2,731	3,310	3,154	2,456	0,000	3,356	2,530	2,413	3,791	3,955
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,879	0,124	0,000	0,000	0,092	0,000
TOTAL	14,852	27,910	14,642	15,273	14,925	14,376	12,871	15,169	14,434	14,465	15,807	15,933

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (1, 3, 5, 8, 9) - U (3, 5, 6, 7, 10, 12) - avaliado para todas.

continuação

IPÊ - 5573F													
ÓXIDOS	1 b	2 i	3 z	4 b	5 c	6 i	7 b	8 b	9 c	10 c	11 i	12 b	13 c
Análises													
WO ₃	0,36	0,00	0,63	1,58	0,00	0,00	0,96	0,62	0,00	1,69	1,53	1,02	0,00
Nb ₂ O ₅	47,46	42,88	49,83	45,86	47,78	12,54	48,55	49,77	48,07	47,29	49,52	50,17	52,47
Ta ₂ O ₅	29,31	18,92	26,39	31,26	27,86	63,01	28,69	27,06	28,70	28,57	28,12	25,71	26,14
P ₂ O ₅	0,24	1,16	0,00	0,29	0,00	1,25	0,81	0,84	0,00	1,13	0,86	0,70	0,08
TiO ₂	0,78	0,73	1,04	0,80	1,11	2,08	0,89	0,89	1,11	0,97	0,76	0,95	0,79
SnO ₂	0,00	0,00	0,11	0,00	0,30	0,20	0,19	0,52	0,00	0,21	0,24	0,00	0,00
ZrO ₂	1,57	0,00	2,08	1,24	1,96	0,00	0,00	0,00	1,47	0,00	0,00	0,00	0,00
ThO ₂	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
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	1,97	0,00
Y ₂ O ₃	1,52	5,82	0,45	1,34	1,31	4,15	0,79	2,52	1,08	1,71	2,39	2,77	2,74
FeO	10,96	8,98	10,63	10,69	10,97	0,29	11,52	10,26	12,32	10,57	10,82	9,41	11,61
MnO	3,59	2,80	3,79	3,09	4,16	0,35	3,97	3,33	3,81	4,05	2,96	3,48	3,07
MgO	1,48	16,88	1,35	1,37	1,39	1,38	1,45	1,10	1,28	1,17	0,61	0,88	0,45
CaO	0,04	0,08	0,07	0,00	0,00	9,62	0,00	0,00	0,08	0,00	0,02	0,00	0,00
PbO	1,22	1,43	1,59	1,09	1,25	2,39	0,64	1,53	0,88	1,38	1,17	1,93	1,59
K ₂ O	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,12	0,04	0,00	0,00
Na ₂ O	1,32	0,25	1,70	1,39	1,40	2,75	1,18	1,45	1,19	1,23	0,96	1,22	1,06
Cs ₂ O	0,15	0,00	0,34	0,00	0,51	0,00	0,36	0,00	0,0	0,22	0,00	0,00	0,00
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂													
W	0,023	0,000	0,041	0,105	0,000	0,000	0,062	0,040	0,000	0,111	0,100	0,065	0,000
Nb	5,457	4,417	5,683	5,313	5,492	1,650	5,516	5,648	5,506	5,398	5,650	5,592	5,990
Ta	2,027	1,172	1,811	2,178	1,926	4,987	1,961	1,847	1,978	1,941	1,930	1,724	1,795
P	0,052	0,224	0,00	0,064	0,000	0,309	0,172	0,179	0,000	0,241	0,185	0,146	0,017
Ti	0,149	0,125	0,197	0,155	0,213	0,454	0,167	0,168	0,212	0,184	0,143	0,176	0,149
Sn	0,000	0,000	0,011	0,000	0,031	0,023	0,019	0,052	0,000	0,021	0,024	0,000	0,000
Zr	0,194	0,000	0,255	0,155	0,243	0,000	0,000	0,000	0,181	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	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
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,000	0,573	0,000
Y	0,209	0,706	0,060	0,183	0,177	0,643	0,106	0,336	0,146	0,230	0,321	0,363	0,368
Fe	2,330	1,711	2,243	2,292	2,334	0,070	2,421	2,154	2,611	2,232	2,284	1,940	2,452
Mn	0,772	0,541	0,811	0,670	0,896	0,086	0,845	0,707	0,819	0,866	0,633	0,726	0,657
Mg	0,560	5,734	0,508	0,522	0,527	0,600	0,545	0,411	0,483	0,440	0,228	0,322	0,168
Ca	0,012	0,020	0,019	0,000	0,000	2,999	0,000	0,000	0,022	0,000	0,006	0,000	0,000
Pb	0,084	0,088	0,108	0,075	0,085	0,187	0,043	0,103	0,060	0,094	0,079	0,115	0,108
K	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000	0,037	0,014	0,000	0,000
Na	0,652	0,111	0,832	0,690	0,691	1,549	0,574	0,708	0,582	0,603	0,471	0,584	0,518
Cs	0,016	0,000	0,037	0,000	0,055	0,000	0,039	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,000
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	12,536	14,868	12,617	12,402	12,670	13,557	12,470	12,392	12,600	12,421	12,068	12,326	12,222

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (1, 5, 13) - U (1, 4, 5, 6, 10, 12, 13) - SO₃ (todas) - avaliado para todas.

continuação

ÓXIDOS		IPÊ - 5573G					
Análises	1 b	2 c	3 b	4 i	5 b	6 b	7 c
WO ₃	0,00	0,00	0,00	1,74	0,00	0,41	1,95
Nb ₂ O ₅	49,99	49,53	52,15	53,02	51,54	48,63	48,85
Ta ₂ O ₅	24,56	25,70	22,24	22,04	21,35	24,02	22,94
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	1,10	0,00	0,63
TiO ₂	0,84	0,87	0,84	0,65	0,90	1,01	0,99
SnO ₂	0,00	0,00	0,50	0,00	0,05	0,17	0,00
ZrO ₂	1,02	1,40	0,87	1,70	0,00	1,43	0,93
ThO ₂	0,00	0,00	0,000	0,00	0,00	0,00	0,00
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	0,00	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,87	0,79	0,28	0,35	0,00	1,27	0,00
FeO	11,72	11,01	12,03	10,49	11,42	10,74	10,67
MnO	3,53	3,30	4,05	3,64	4,16	3,70	4,01
MgO	0,28	0,14	0,24	0,47	0,24	0,35	0,22
CaO	0,00	0,00	0,10	0,17	0,00	0,00	0,09
PbO	0,55	0,97	0,52	1,57	1,38	1,00	0,84
K ₂ O	0,00	0,00	0,16	0,27	0,11	0,04	0,00
Na ₂ O	0,09	0,22	0,14	0,94	0,18	0,29	0,09
Cs ₂ O	0,00	0,26	0,25	0,14	0,07	0,08	0,58
F	0,00	0,00	0,000	nd	nd	nd	nd
Hf	6,55	5,81	5,65	2,81	7,51	6,86	7,20
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂							
W	0,000	0,000	0,000	0,116	0,000	0,028	0,136
Nb	6,055	6,005	6,207	6,156	6,177	5,935	5,940
Ta	1,789	1,875	1,592	1,540	1,539	1,763	1,678
P	0,000	0,000	0,000	0,000	0,247	0,000	0,143
Ti	0,169	0,176	0,166	0,125	0,180	0,205	0,200
Sn	0,000	0,000	0,052	0,000	0,005	0,019	0,000
Zr	0,133	0,183	0,111	0,213	0,000	0,188	0,122
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	0,000	0,000	0,000	0,000
Y	0,124	0,113	0,039	0,048	0,000	0,182	0,000
Fe	2,626	2,470	2,649	2,253	4,531	2,426	2,399
Mn	0,801	0,750	0,903	0,792	0,933	0,846	0,915
Mg	0,112	0,055	0,092	0,179	0,095	0,143	0,089
Ca	0,000	0,000	0,027	0,047	0,000	0,000	0,025
Pb	0,040	0,070	0,037	0,109	0,098	0,073	0,061
K	0,000	0,000	0,054	0,088	0,037	0,013	0,000
Na	0,047	0,113	0,073	0,470	0,090	0,150	0,049
Cs	0,000	0,030	0,028	0,015	0,008	0,009	0,067
F	0,000	0,000	0,000	nd	nd	nd	nd
Hf	5,551	4,930	4,705	2,281	6,297	5,860	6,124
TOTAL	17,446	16,768	16,735	14,431	18,236	17,840	17,947

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (4, 7) - avaliado para todas.

continuação

OLHO-DE-GATO - 5577 caco b										
ÓXIDOS	1 b	2 z	3 b	4 z	5 z	6 b	7 i	8 zi	9 b	10 i
Análises										
WO ₃	0,00	0,00	4,34	5,43	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,89
Nb ₂ O ₅	23,14	27,88	28,46	23,63	31,84	11,03	0,73	8,13	10,06	0,73
Ta ₂ O ₅	53,07	48,03	43,92	50,58	41,23	55,25	6,39	64,27	54,35	4,38
P ₂ O ₅	1,05	0,66	1,09	0,95	1,07	0,54	0,33	0,14	0,47	0,04
TiO ₂	0,31	0,26	0,35	0,00	0,30	0,00	0,11	0,27	0,10	0,00
SnO ₂	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00	14,52	90,52	1,56	14,40	90,00
ZrO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	0,00	1,45	1,00	0,14
ThO ₂	0,00	0,25	0,28	0,62	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,66
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	4,05	4,98	3,94	3,23	4,37	2,96	0,00	4,20	2,76	0,28
FeO	5,81	6,64	5,50	6,67	5,45	5,01	0,32	10,50	5,28	0,80
MnO	6,77	6,67	6,18	6,64	7,58	4,86	0,26	1,34	4,60	0,24
MgO	0,02	0,00	0,00	0,18	0,40	0,00	0,04	1,36	1,48	0,15
CaO	0,05	0,00	0,20	0,00	0,23	0,31	0,00	0,02	0,00	0,00
PbO	0,79	0,97	1,07	0,74	1,40	0,51	0,38	0,53	0,35	0,27
K ₂ O	0,00	0,00	0,06	0,08	0,00	0,00	0,43	0,13	0,00	0,47
Na ₂ O	0,13	0,15	0,19	0,04	0,54	0,35	0,00	0,18	0,49	0,06
Cs ₂ O	0,53	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	4,29	3,50	3,41	1,20	5,59	3,11	0,48	5,80	4,64	0,88
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂										
W	0,000	0,000	0,327	0,412	0,000	0,041	0,000	0,000	0,000	0,070
Nb	3,167	3,704	3,735	3,129	4,166	1,581	0,100	1,225	1,451	0,101
Ta	4,370	3,839	3,467	4,028	3,244	4,767	0,527	5,824	4,715	0,364
P	0,268	0,165	0,267	0,236	0,263	0,146	0,084	0,041	0,128	0,011
Ti	0,071	0,059	0,076	0,000	0,065	0,000	0,024	0,068	0,023	0,000
Sn	0,000	0,000	0,079	0,000	0,000	1,837	10,946	0,207	1,832	10,964
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,163	0,000	0,236	0,155	0,022
Th	0,000	0,016	0,018	0,041	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,046
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	0,653	0,779	0,609	0,503	0,672	0,499	0,000	0,745	0,469	0,045
Fe	1,470	1,633	1,335	1,635	1,319	1,328	0,080	2,927	1,410	0,205
Mn	1,737	1,661	1,518	1,646	1,857	1,307	0,068	0,377	1,242	0,061
Mg	0,009	0,000	0,000	0,079	0,171	0,000	0,017	0,675	0,704	0,070
Ca	0,015	0,000	0,062	0,000	0,072	0,106	0,000	0,006	0,000	0,000
Pb	0,064	0,077	0,084	0,059	0,109	0,044	0,031	0,048	0,030	0,022
K	0,000	0,000	0,023	0,031	0,000	0,000	0,000	0,057	0,000	0,182
Na	0,076	0,084	0,109	0,025	0,302	0,217	0,003	0,115	0,305	0,038
Cs	0,069	0,000	0,039	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
F	4,110	3,255	3,134	1,113	5,116	3,118	0,462	6,108	4,685	0,846
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	Nd
TOTAL	16,078	15,270	14,883	12,936	17,357	15,154	12,510	18,668	17,151	13,048

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (1, 2, 4, 8, 9) - U (3,4,7, 9,10) - avaliado para todas.

continuação

JONAS LIMA II - 5620a										
OXIDOS	1 b	2 i	3 zi	4 i	5 zi	6 c	7 b	8 z	9 b	10 i
Análises										
WO ₃	0,00	0,54	0,00	0,23	0,83	2,21	2,10	0,00	0,00	0,43
Nb ₂ O ₅	31,38	33,24	30,95	1,53	20,04	32,61	34,47	36,68	30,91	1,74
Ta ₂ O ₅	43,29	40,06	44,71	3,49	52,60	42,93	41,66	40,18	47,87	4,84
P ₂ O ₅	0,00	0,07	1,19	0,00	0,79	1,14	1,14	1,66	1,32	0,00
TiO ₂	0,16	0,18	0,34	0,15	0,23	0,25	0,15	0,21	0,15	0,13
SnO ₂	0,26	0,64	0,41	90,29	0,47	0,25	0,00	0,00	0,44	89,38
ZrO ₂	1,13	2,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,51
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	2,23	0,00	0,00	0,47	0,00	0,00	0,54
Y ₂ O ₃	2,91	2,57	2,17	0,00	4,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
Fe ₂ O ₃	3,39	1,79	2,57	0,90	4,54	3,94	4,38	3,80	4,67	0,60
MnO	10,89	12,80	12,56	0,00	7,78	10,97	10,78	11,61	10,27	0,29
MgO	0,03	0,00	0,20	0,23	0,00	0,32	0,17	0,01	0,00	0,26
CaO	0,03	0,03	0,25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PbO	0,00	0,95	0,65	0,00	0,53	0,66	0,44	1,00	0,83	0,19
K ₂ O	0,00	0,14	0,00	0,57	0,00	0,22	0,00	0,06	0,05	0,38
Na ₂ O	0,32	0,39	0,33	0,38	0,36	0,37	0,22	0,09	0,18	0,19
Cs ₂ O	0,00	0,11	0,21	0,00	0,31	0,26	0,00	0,10	0,13	0,27
F	5,90	4,47	3,46	0,00	7,01	0,00	4,03	4,59	3,17	0,00
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂										
W	0,000	0,040	0,000	0,018	0,067	0,161	0,150	0,00	0,000	0,033
Nb	4,137	4,304	3,946	0,201	2,812	4,129	4,297	4,566	3,932	0,234
Ta	3,433	3,120	3,429	0,276	4,441	3,269	3,124	3,009	3,663	0,392
P	0,000	0,016	0,284	0,000	0,207	0,271	0,266	0,387	0,316	0,000
Ti	0,035	0,040	0,071	0,032	0,053	0,052	0,031	0,043	0,031	0,029
Sn	0,030	0,073	0,046	10,468	0,058	0,027	0,000	0,000	0,049	10,616
Zr	0,161	0,282	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,074
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	0,766	0,000	0,000	0,151	0,000	0,000	0,189
Y	0,452	0,392	0,326	0,000	0,748	0,000	0,000	0,000	0,000	0,040
Fe	0,744	0,385	0,545	0,197	1,061	0,829	0,908	0,788	0,990	0,135
Mn	2,691	3,104	3,001	0,000	2,045	2,602	2,519	2,708	2,449	0,073
Mg	0,013	0,000	0,082	0,099	0,000	0,135	0,072	0,006	0,000	0,116
Ca	0,010	0,009	0,076	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Pb	0,024	0,073	0,050	0,000	0,044	0,050	0,033	0,074	0,063	0,015
K	0,000	0,050	0,000	0,212	0,000	0,079	0,000	0,021	0,019	0,143
Na	0,181	0,215	0,179	0,213	0,214	0,198	0,116	0,047	0,097	0,111
Cs	0,000	0,014	0,025	0,000	0,041	0,031	0,000	0,012	0,016	0,035
F	5,439	4,052	3,088	0,000	6,883	3,419	3,518	4,001	2,820	0,000
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	17,350	16,169	15,149	12,481	18,672	15,255	15,185	15,661	14,445	12,236

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (2, 3, 6, 8, 9, 10) - U (1, 2, 3, 4, 6, 7).

continuação

JONAS LIMA Ia - 5774														
ÓXIDOS	1 b	2 z	3 i	4 c	5 b	6 c	7 i	8 b	9 b	10 c	11 c	12 c	13 z	14 c
Análises														
WO ₃	0,00	0,34	0,20	0,80	0,00	0,00	1,24	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	2,21	0,00
Nb ₂ O ₅	54,19	54,18	50,20	51,45	49,94	48,39	50,93	49,16	49,85	48,98	50,37	50,61	48,93	48,25
Ta ₂ O ₅	19,39	20,54	24,11	23,83	25,43	26,21	22,19	25,45	24,16	25,57	24,76	23,91	24,39	23,82
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	0,43	0,00	0,79	0,00	0,24	0,21	0,91	0,70	0,00
TiO ₂	0,46	0,26	0,23	0,12	0,40	0,47	0,13	0,40	0,25	0,27	0,22	0,41	0,31	0,40
SnO ₂	0,09	0,34	0,20	0,00	0,00	0,34	0,26	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00
ZrO ₂	0,51	0,61	1,05	0,00	1,52	0,62	0,90	0,00	1,29	1,14	1,00	0,00	0,00	1,83
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	0,00	0,67
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	0,49	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,00	0,64	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,94	0,56	1,41	0,00	0,00	0,00	1,62	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50
FeO	7,24	8,18	8,77	8,55	8,74	8,25	7,92	8,56	9,08	8,91	8,44	8,77	8,10	8,55
MnO	6,84	6,36	5,63	6,10	5,68	5,58	6,09	5,72	6,56	6,08	5,81	5,77	6,18	5,44
MgO	0,90	0,05	0,01	0,18	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,19	0,10	0,20	0,30	0,13
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,05	0,10	0,05	0,06	0,00
PbO	0,98	0,83	0,69	0,60	0,78	0,86	0,95	1,00	0,89	0,60	1,06	0,81	0,68	1,00
K ₂ O	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,04	0,00	0,03	0,04	0,09	0,10	0,17	0,00
Na ₂ O	0,43	0,27	0,10	0,20	0,22	0,27	0,22	0,00	0,20	0,31	0,21	0,30	0,27	0,36
Cs ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,00	0,00	0,00	0,13	0,06	0,00	0,00	0,08
F	8,03	7,82	7,59	7,29	7,30	8,07	7,47	7,88	7,63	7,28	7,56	7,51	7,58	7,99
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂														
W	0,000	0,000	0,000	0,056	0,000	0,000	0,087	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000	0,155	0,000
Nb	6,510	6,555	6,176	6,223	6,132	6,018	6,242	6,046	6,142	5,999	6,189	6,083	5,984	6,004
Ta	1,401	1,495	1,784	1,734	1,878	1,960	1,636	1,883	1,790	1,884	1,830	1,729	1,795	1,783
P	0,000	0,000	0,000	0,078	0,000	0,099	0,000	0,183	0,000	0,055	0,047	0,204	0,161	0,000
Ti	0,091	0,052	0,047	0,023	0,081	0,098	0,027	0,081	0,051	0,056	0,044	0,082	0,064	0,082
Sn	0,010	0,036	0,021	0,000	0,000	0,038	0,028	0,013	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011	0,000
Zr	0,066	0,080	0,139	0,000	0,202	0,083	0,119	0,000	0,171	0,151	0,133	0,000	0,000	0,246
Th	0,000	0,000	0,000	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,000	0,000	0,041
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	0,154	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,065	0,000	0,202	0,000	0,000
Y	0,133	0,079	0,204	0,000	0,000	0,000	0,234	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,220
Fe	1,610	1,831	1,996	1,912	1,987	1,897	1,797	1,953	2,069	2,018	1,919	1,950	1,832	1,967
Mn	1,540	1,442	1,299	1,382	1,306	1,300	1,399	1,317	1,514	1,395	1,338	1,298	1,416	1,269
Mg	0,355	0,019	0,004	0,072	0,000	0,007	0,016	0,000	0,000	0,077	0,042	0,078	0,122	0,052
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,018	0,016	0,029	0,016	0,016	0,000
Pb	0,070	0,060	0,050	0,043	0,057	0,064	0,069	0,073	0,065	0,044	0,077	0,058	0,050	0,074
K	0,000	0,000	0,005	0,017	0,000	0,000	0,014	0,000	0,011	0,015	0,031	0,034	0,059	0,000
Na	0,222	0,140	0,051	0,105	0,116	0,145	0,118	0,000	0,105	0,161	0,112	0,154	0,142	0,193
Cs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058	0,000	0,000	0,000	0,015	0,007	0,000	0,000	0,009
F	6,747	6,619	6,530	6,166	6,268	7,021	6,401	6,779	6,580	6,234	6,496	6,318	6,489	6,953
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	18,756	18,407	18,308	17,964	18,028	18,788	18,187	18,392	18,518	18,184	18,295	18,206	18,294	18,894

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (4,6,10,13) - U (2,3,6,8,9,10,12,13,14) - avaliado para todas.

continuação

JONAS LIMA Ib-- 5774												
ÓXIDOS	1 b	2 i	3 i	4 zi	4A-zi	4B-zi	5 b	6 b	7 c	8 b	9 c	10 c
Análises												
WO ₃	0,63	0,00	0,05	0,00	0,00	1,53	0,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,94
Nb ₂ O ₅	49,99	48,22	2,49	7,56	6,45	11,61	48,14	48,52	48,59	19,45	51,30	50,52
Ta ₂ O ₅	29,82	24,42	0,95	61,65	63,20	53,93	30,96	31,34	31,35	20,04	28,13	28,65
P ₂ O ₅	0,66	0,87	0,00	0,00	0,00	1,81	1,80	2,38	3,08	0,79	2,89	3,12
TiO ₂	0,50	0,37	0,05	0,67	0,56	0,38	0,47	0,33	0,36	0,22	0,30	0,47
SnO ₂	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,35	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZrO ₂	0,00	0,00	0,66	3,05	2,96	3,42	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	6,15	94,63	0,00	0,00	0,85	0,00	0,00	0,00	46,22	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	1,30	3,24	0,00	4,22	3,88	2,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	8,99	7,88	0,20	2,10	1,83	1,29	8,55	8,30	8,96	6,79	8,94	8,49
MnO	6,33	6,05	0,00	0,04	0,00	0,23	6,20	6,47	6,63	5,18	6,51	5,92
MgO	0,00	0,19	0,00	0,40	0,45	0,52	0,31	0,21	0,05	0,00	0,00	0,17
CaO	0,02	0,18	0,51	0,72	0,79	1,01	0,00	0,06	0,00	0,17	0,00	0,00
PbO	0,80	1,33	0,00	19,22	17,72	20,05	1,44	1,46	0,79	0,00	1,43	0,91
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,30	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
Na ₂ O	0,34	0,97	0,44	0,24	0,28	0,35	0,97	0,94	0,19	0,29	0,35	0,81
Cs ₂ O	0,26	0,14	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,09	0,00
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂												
W	0,042	0,000	0,002	0,000	0,00	0,133	0,043	0,000	0,000	0,000	0,000	0,060
Nb	5,756	5,208	0,157	1,234	1,013	1,763	5,494	5,497	5,442	1,606	5,712	5,593
Ta	2,065	1,586	0,036	6,054	5,975	4,928	2,125	2,136	2,112	0,996	1,884	1,908
P	0,143	0,177	0,000	0,000	0,000	0,514	0,384	0,504	0,647	0,122	0,604	0,647
Ti	0,096	0,066	0,005	0,182	0,146	0,095	0,090	0,061	0,067	0,030	0,055	0,086
Sn	0,037	0,000	0,000	0,000	0,000	0,047	0,047	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Zr	0,000	0,000	0,045	0,000	0,502	0,561	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Th	0,000	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	1,730	15,502	0,000	0,000	0,335	0,000	0,000	0,000	9,952	0,000	0,000
Y	0,176	0,411	0,000	0,811	0,717	0,425	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	1,914	1,574	0,023	0,635	0,531	0,362	1,806	1,736	1,857	1,037	1,842	1,739
Mn	1,365	1,224	0,000	0,012	0,000	0,066	1,326	1,373	1,392	0,802	1,358	1,228
Mg	0,000	0,068	0,000	0,218	0,234	0,260	0,115	0,077	0,017	0,000	0,000	0,060
Ca	0,005	0,046	0,076	0,278	0,294	0,363	0,000	0,016	0,000	0,034	0,000	0,000
Pb	0,055	0,086	0,000	1,868	1,658	1,814	0,098	0,099	0,053	0,000	0,095	0,060
K	0,000	0,000	0,000	0,063	0,000	0,128	0,009	0,000	0,000	0,000	0,015	0,000
Na	0,167	0,450	0,118	0,169	0,189	0,229	0,474	0,459	0,090	0,102	0,168	0,385
Cs	0,028	0,014	0,000	0,000	0,028	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,009	0,000
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	11,847	12,639	15,965	12,060	11,730	12,022	12,012	11,961	11,676	14,785	11,742	11,765

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (3 , 4A, 8, 9) - U (2, 4, 4B, 5) - avaliado para todas.
 SO₃ foi dosado para todas as amostras sendo zero.

continuação

FAZENDA DA JAPONESA - 5661									
ÓXIDOS	1 b	2 b	3 z	4 i	5 z	6 z	6 az	7 b	8 c
Análises									
WO ₃	0,64	0,26	0,00	2,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nb ₂ O ₅	34,79	32,50	33,87	33,69	37,72	29,81	47,74	34,12	34,76
Ta ₂ O ₅	43,69	45,48	43,55	42,84	41,10	48,56	29,86	43,95	43,19
P ₂ O ₅	0,28	0,00	0,14	0,57	0,59	0,86	0,00	0,79	0,65
TiO ₂	0,47	0,65	0,47	0,72	0,51	0,53	0,49	0,59	0,26
SnO ₂	0,00	0,02	0,23	0,00	0,00	0,17	0,22	0,26	0,36
ZrO ₂	0,76	1,62	1,22	0,52	0,00	0,00	1,22	0,00	0,00
ThO ₂	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,25
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	2,23	2,27	2,46	2,67	1,90	2,34	1,05	2,98	2,27
FeO	10,04	10,40	10,23	10,28	10,54	11,41	13,48	9,62	9,81
MnO	3,97	3,97	4,38	4,24	4,53	2,40	1,91	4,39	5,03
MgO	1,16	1,16	1,53	1,95	1,50	1,75	1,48	1,36	1,68
CaO	0,00	0,02	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
PbO	0,63	0,54	0,60	0,92	0,42	0,74	0,90	0,48	0,44
K ₂ O	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,00
Na ₂ O	1,14	1,07	1,29	1,54	1,20	1,44	1,49	1,19	1,25
Cs ₂ O	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,20	0,00
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂									
W	0,045	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Nb	4,281	4,041	4,167	4,106	4,534	3,713	5,509	4,172	4,238
Ta	3,233	3,402	3,222	3,141	2,972	3,638	2,073	3,232	3,168
P	0,065	0,000	0,032	0,130	0,133	0,201	0,000	0,180	0,148
Ti	0,096	0,134	0,096	0,146	0,102	0,109	0,094	0,119	0,053
Sn	0,000	0,002	0,025	0,000	0,000	0,018	0,022	0,028	0,038
Zr	0,101	0,218	0,162	0,068	0,000	0,000	0,152	0,000	0,000
Th	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	0,323	0,333	0,357	0,382	0,268	0,343	0,143	0,428	0,326
Fe	2,284	2,392	2,327	2,317	2,345	2,630	2,877	2,175	2,213
Mn	0,916	0,924	1,009	0,968	1,020	0,561	0,413	1,005	1,149
Mg	0,470	0,477	0,623	0,782	0,593	0,720	0,565	0,549	0,674
Ca	0,000	0,007	0,000	0,019	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016
Pb	0,047	0,040	0,044	0,067	0,030	0,201	0,062	0,035	0,032
K	0,005	0,005	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002	0,025	0,000
Na	0,602	0,573	0,681	0,804	0,618	0,768	0,738	0,622	0,655
Cs	0,008	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,015	0,024	0,000
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	12,484	12,568	12,751	12,931	12,615	12,756	12,665	12,597	12,727

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (3, 6a, 8) - U (2, 3, 6a) . SO₃ analisado para todos.

continuação

GOLCONDA I - 5775									
ÓXIDOS	1 G	2 G	3 i	4 i	5 zi	6 b	7 b	8 c	9 i
Análises									
WO ₃	nd	nd	0,00	0,83	0,56	1,79	0,00	0,00	0,00
Nb ₂ O ₅	nd	nd	44,76	42,96	31,02	39,01	21,57	40,09	39,99
Ta ₂ O ₅	nd	nd	29,63	29,75	42,61	34,20	51,38	33,34	34,47
P ₂ O ₅	nd	nd	0,39	0,02	0,00	0,00	0,07	0,00	0,72
TiO ₂	nd	nd	0,27	0,37	0,18	0,37	0,12	0,18	0,20
SnO ₂	nd	nd	0,47	0,18	0,48	0,00	0,35	0,19	0,30
ZrO ₂	nd	nd	0,00	1,15	0,93	1,43	1,35	1,97	0,00
ThO ₂	nd	nd	0,60	0,05	0,06	0,00	0,09	0,06	0,15
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	45,13	36,80	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	52,52	26,66	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	nd	nd	0,54	1,52	2,29	2,04	3,45	1,74	1,37
FeO	1,79	26,58	6,00	7,69	9,12	5,67	7,88	6,49	6,27
MnO	nd	nd	9,26	6,75	3,92	8,41	5,17	7,88	8,63
MgO	0,18	2,94	0,23	0,96	1,02	0,00	1,31	0,00	0,94
CaO	0,13	0,46	0,06	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
PbO	nd	nd	0,68	0,81	0,76	0,81	0,59	0,95	0,42
K ₂ O	0,01	0,80	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Na ₂ O	0,24	3,93	0,04	0,00	0,03	0,00	0,04	0,04	0,00
Cs ₂ O	nd	nd	0,12	0,27	0,40	0,21	0,33	0,15	0,36
F	nd	nd	0,14	0,20	0,00	0,15	0,00	0,00	0,29
Hf	nd	nd	6,81	6,47	6,61	5,91	6,28	6,92	5,90
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂									
W	nd	nd	0,000	0,060	0,043	0,129	0,000	0,000	0,000
Nb	nd	nd	5,603	5,379	4,157	5,000	3,021	5,163	5,025
Ta	nd	nd	2,231	2,241	3,435	2,637	4,328	2,583	2,605
P	nd	nd	0,092	0,005	0,000	0,000	0,018	0,000	0,170
Ti	nd	nd	0,055	0,076	0,040	0,080	0,028	0,038	0,042
Sn	nd	nd	0,052	0,019	0,056	0,000	0,043	0,022	0,033
Zr	nd	nd	0,000	0,156	0,135	0,198	0,204	0,273	0,000
Th	nd	nd	0,038	0,003	0,004	0,000	0,007	0,004	0,009
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	5,846	5,754	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	8,020	4,912	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	nd	nd	0,079	0,224	0,361	0,308	0,569	0,264	0,202
Fe	0,194	3,475	1,389	1,781	2,261	1,344	2,041	1,546	1,457
Mn	nd	nd	2,171	1,583	0,984	2,019	1,357	1,901	2,031
Mg	0,034	0,685	0,097	0,396	0,452	0,000	0,607	0,000	0,391
Ca	0,018	0,077	0,018	0,005	0,002	0,008	0,000	0,000	0,000
Pb	nd	nd	0,051	0,061	0,061	0,062	0,049	0,073	0,031
K	0,001	0,160	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Na	0,06	1,191	0,015	0,000	0,010	0,00	0,017	0,016	0,000
Cs	nd	nd	0,066	0,146	0,231	0,118	0,200	0,080	0,196
F	nd	nd	0,017	0,024	0,000	0,018	0,000	0,000	0,035
Hf	nd	nd	5,962	5,664	6,199	5,298	6,147	6,236	5,185
TOTAL	14,174	16,466	17,937	17,823	18,431	17,220	18,638	18,197	17,413

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (6, 9) - U (5, 7, 9) avaliado para todas. No ponto 2G foi analisado ZnO com 1,83%, com átomos por malha igual a 0,212.

continuação

ESCONDIDO - 5683												
ÓXIDOS	1 b	2 i	3 c	4 i	5 b	6 i	7 i	8 b	9 z	10 i	11 c	12 z
Análises												
WO ₃	0,00	0,00	0,43	0,00	0,00	0,00	0,35	0,00	4,80	0,50	1,11	0,00
Nb ₂ O ₅	35,76	23,51	31,96	32,11	28,71	32,26	11,93	26,07	27,97	31,52	28,21	36,53
Ta ₂ O ₅	34,68	41,73	35,31	34,78	26,78	36,76	49,82	28,63	36,74	25,55	36,36	30,92
P ₂ O ₅	1,02	1,25	1,27	0,90	1,83	1,75	1,84	0,00	0,14	0,00	0,00	0,89
TiO ₂	1,65	0,63	1,77	1,54	1,40	1,73	1,58	1,28	1,27	0,90	1,16	1,51
SnO ₂	0,47	0,18	0,90	1,17	0,67	1,15	0,50	0,80	0,69	1,02	1,09	0,97
ZrO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,29	1,58	1,87	1,60	0,00
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	0,00	10,13	2,53	5,09	19,64	0,00	15,04	19,46	0,23	16,76	4,93	1,47
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,87	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	4,27	3,55	4,04	4,12	2,66	4,97	0,00	1,81	4,84	1,95	4,53	3,08
FeO	3,44	0,29	2,88	2,36	3,28	2,28	2,69	3,10	2,62	2,02	2,22	3,43
MnO	10,73	11,54	10,67	10,43	7,50	10,67	11,39	7,85	9,33	8,17	9,86	11,06
MgO	1,49	1,32	1,64	1,61	0,00	1,89	0,06	1,14	1,67	0,00	1,27	1,59
CaO	0,05	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,06	0,11	0,06
PbO	1,39	0,66	1,10	1,04	1,50	1,58	0,00	1,05	1,36	0,22	1,15	0,82
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,15	0,09	0,00
Na ₂ O	0,50	0,24	0,55	0,47	0,26	0,65	0,22	0,34	0,51	0,39	0,21	0,57
Cs ₂ O	0,00	0,10	0,50	0,00	0,28	0,00	0,76	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
F	4,54	4,86	4,43	4,29	5,50	4,30	1,85	5,81	6,24	8,91	6,11	7,10
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂												
W	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,022	0,00	0,363	0,031	0,079	0,000
Nb	4,433	2,708	3,867	3,764	2,874	4,002	1,292	2,675	3,683	3,364	3,482	4,499
Ta	2,586	2,891	2,570	2,452	1,612	2,743	3,247	1,767	2,910	1,640	2,700	2,291
P	0,238	0,270	0,287	0,198	0,343	0,406	0,374	0,000	0,036	0,000	0,000	0,205
Ti	0,340	0,121	0,356	0,299	0,233	0,356	0,284	0,219	0,278	0,161	0,237	0,310
Sn	0,052	0,018	0,096	0,121	0,059	0,126	0,047	0,072	0,080	0,096	0,119	0,105
Zr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,254	0,224	0,215	0,213	0,000
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	0,000	2,581	0,678	1,321	4,349	0,000	3,604	4,416	0,066	3,957	1,345	0,402
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,529	nd	nd	nd	nd	nd
Y	0,623	0,482	0,575	0,568	0,314	0,726	0,000	0,219	0,750	0,245	0,658	0,446
Fe	0,789	0,061	0,644	0,511	0,607	0,524	0,540	0,589	0,639	0,398	0,506	0,783
Mn	2,492	2,490	2,418	2,291	1,407	2,481	2,311	1,510	2,302	1,634	2,281	2,553
Mg	0,610	0,503	0,654	0,621	0,000	0,775	0,021	0,385	0,726	0,000	0,515	0,644
Ca	0,014	0,000	0,012	0,001	0,000	0,000	0,025	0,000	0,000	0,014	0,033	0,018
Pb	0,102	0,046	0,079	0,072	0,089	0,117	0,000	0,064	0,107	0,014	0,085	0,060
K	0,000	0,000	0,000	0,032	0,000	0,000	0,000	0,009	0,000	0,044	0,030	0,000
Na	0,267	0,119	0,284	0,237	0,111	0,346	0,102	0,148	0,288	0,179	0,112	0,299
Cs	0,000	0,011	0,058	0,000	0,026	0,000	0,078	0,033	0,000	0,000	0,000	0,000
F	3,940	3,913	3,747	3,516	3,849	3,727	1,401	4,168	5,747	6,649	5,278	6,119
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	16,485	16,213	15,355	16,004	15,87	16,329	13,877	16,528	18,199	18,641	17,674	18,735

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (3, 5, 8, 9) - U (3, 4, 6, 7, 8, 12)- avaliado para todas.
SO₃ para todas

continuação

ÓXIDOS						
URBANO - 5664						
Análises	1 b	2 b	3 c	5 i	6 b	7 b
WO ₃	0,85	0,00	1,75	0,00	1,56	0,00
Nb ₂ O ₅	69,67	70,09	69,18	67,33	70,33	70,61
Ta ₂ O ₅	8,23	7,75	8,07	5,81	7,04	7,96
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,28	0,00	0,00
TiO ₂	0,45	0,49	0,50	0,65	0,39	0,66
SnO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,42
ZrO ₂	0,48	0,73	0,73	0,96	0,57	0,54
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	5,03	0,00	nd
Y ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	14,41	13,87	13,33	12,82	13,70	13,77
MnO	2,67	3,71	3,24	3,80	3,37	3,45
MgO	0,98	1,03	0,95	0,72	0,44	0,78
CaO	0,02	0,01	0,00	0,05	0,02	0,02
PbO	0,87	0,50	0,92	0,96	0,94	0,60
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	1,28	1,35	1,10	1,25	0,95	1,18
Cs ₂ O	0,00	0,25	0,23	0,34	0,24	0,00
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂						
W	0,051	0,000	0,105	0,000	0,094	0,000
Nb	7,306	7,325	7,276	6,761	7,407	7,366
Ta	0,519	0,487	0,510	0,351	0,446	0,500
P	0,000	0,000	0,000	0,053	0,000	0,000
Ti	0,078	0,086	0,088	0,108	0,069	0,115
Sn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038
Zr	0,055	0,082	0,083	0,104	0,64	0,060
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	1,316	0,000	nd
Y	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe	2,795	2,682	2,593	2,381	2,670	2,658
Mn	0,525	0,727	0,638	0,714	0,665	0,675
Mg	0,339	0,355	0,328	0,239	0,153	0,268
Ca	0,004	0,003	0,000	0,011	0,005	0,006
Pb	0,054	0,031	0,058	0,057	0,059	0,037
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,574	0,606	0,498	0,539	0,427	0,526
Cs	0,000	0,024	0,022	0,032	0,024	0,000
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
TOTAL	12,307	12,429	12,200	12,667	12,124	12,251

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (2, 3, 5) - U (2, 3, 7) avaliado para todas.

continuação

TONINHO - 5655												
ÓXIDOS	1 i	2 i	3 i	4 c	5 c	6 c	7 b	8 c	9 i	10 zi	11 z	12 c
Análises												
WO ₃	1,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	Nd	0,00
Nb ₂ O ₅	8,27	nd	nd	nd	27,59	32,71	31,45	30,28	4,56	22,34	6,19	2,456
Ta ₂ O ₅	64,00	83,39	80,22	79,60	56,95	50,81	53,23	53,70	79,12	68,87	78,31	40,39
P ₂ O ₅	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	nd	0,00
TiO ₂	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	nd	0,00
SnO ₂	0,43	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	nd	0,12
ZrO ₂	2,26	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,00	nd	1,94
ThO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	0,00	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	nd	16,08
Al ₂ O ₃	0,00	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	nd	0,00
Y ₂ O ₃	4,63	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	4,57	nd	0,90
FeO	0,00	nd	nd	nd	nd	2,78	2,30	2,73	0,24	0,12	0,00	2,10
MnO	0,00	nd	19,78	20,40	15,48	13,00	13,02	13,29	0,38	0,07	0,02	10,57
MgO	0,13	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,10	nd	0,00
CaO	8,13	10,47	nd	nd	nd	nd	nd	nd	9,54	7,88	9,30	0,00
PbO	1,67	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,09	nd	0,66
K ₂ O	0,02	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,05	nd	0,01
Na ₂ O	5,39	6,14	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,16	5,04	6,17	0,23
Cs ₂ O	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
F	4,07	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,28	nd	4,66
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂												
W	0,084	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,000	nd	0,000
Nb	1,205	nd	nd	nd	3,607	4,155	4,030	3,899	0,653	1,014	0,881	2,456
Ta	5,609	7,368	7,344	7,277	4,479	3,890	4,102	4,159	6,825	6,057	6,707	2,671
P	0,000	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,000	nd	0,000
Ti	0,000	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,000	nd	0,000
Sn	0,055	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,000	nd	0,012
Zr	0,355	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,315	nd	0,230
Th	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	0,000	0,000	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,000	nd	3,910
Al	0,000	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,000	nd	0,000
Y	0,795	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,786	nd	0,117
Fe	0,000	nd	nd	nd	nd	0,852	0,545	0,650	0,064	0,032	0,000	0,427
Mn	0,000	nd	5,60	5,807	3,788	3,236	3,125	3,206	0,103	0,020	0,006	2,177
Mg	0,062	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,049	nd	0,000
Ca	2,809	3,647	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,243	2,729	3,139	0,000
Pb	0,145	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,095	nd	0,043
K	0,006	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,022	nd	0,003
Na	3,369	3,866	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,788	3,157	3,770	0,111
Cs	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
F	4,152	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	3,357	0,000	3,580
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	18,645	14,881	12,984	13,084	11,871	11,933	11,802	11,913	14,676	17,633	14,501	15,736

continua

continuação

ALBERTO - 5639										
ÓXIDOS	1 b	2 c	3 b	4 c	5 b	6 i	7 i	8 i	9 b	10 c
Análises										
WO ₃	0,00	0,00	0,00	0,68	0,00	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00
Nb ₂ O ₅	56,62	55,76	53,72	55,95	53,29	38,03	30,77	2,25	53,70	52,59
Ta ₂ O ₅	21,57	23,08	25,40	22,51	24,83	30,59	30,38	3,13	21,22	21,52
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	0,31	0,13	0,27	0,30	0,43	0,62	0,06	0,06	0,15	0,35
SnO ₂	0,10	0,56	0,00	0,15	0,14	0,59	0,00	91,63	0,00	0,37
ZrO ₂	0,83	0,69	1,13	0,00	0,93	0,46	0,27	0,44	1,24	0,73
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UO ₂	nd	nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	1,20	1,10	0,67	0,87	0,93	1,18	2,53	0,05	0,80	0,84
FeO	11,36	11,08	9,95	11,43	7,99	23,10	4,45	0,54	8,15	11,32
MnO	5,04	4,84	5,93	4,81	8,17	0,40	1,61	0,00	8,06	4,72
MgO	0,93	1,01	0,99	0,99	1,02	1,78	0,32	0,06	0,08	0,19
CaO	0,02	0,00	0,04	0,05	0,00	0,00	3,77	0,00	0,00	0,00
PbO	0,86	0,53	0,73	0,44	1,06	0,51	23,24	0,65	1,13	0,84
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,10	0,04	0,00	0,09	0,28	0,03	0,00
Na ₂ O	1,15	1,22	1,14	1,23	1,17	2,51	0,76	0,11	0,31	0,30
Cs ₂ O	0,00	0,00	0,05	0,20	0,00	0,25	0,22	0,00	0,00	0,27
F	nd	nd	Nd	Nd	nd	nd	1,54	0,00	5,14	5,98
Hf	nd	nd	Nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂										
W	0,000	0,000	0,000	0,043	0,000	0,000	0,000	0,062	0,000	0,000
Nb	6,300	6,230	6,061	6,224	6,018	4,510	4,482	0,305	6,363	6,229
Ta	1,444	1,551	1,724	1,506	1,686	2,182	2,662	0,256	1,512	1,551
P	0,057	0,000	0,000	0,063	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,058	0,025	0,050	0,055	0,080	0,121	0,015	0,013	0,030	0,069
Sn	0,010	0,055	0,000	0,015	0,014	0,062	0,000	10,971	0,000	0,039
Zr	0,100	0,084	0,137	0,000	0,114	0,059	0,043	0,065	0,159	0,095
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	0,157	0,145	0,089	0,114	0,123	0,165	0,433	0,008	0,111	0,119
Fe	2,339	2,290	2,076	2,351	1,669	5,067	1,198	0,135	1,787	2,507
Mn	1,051	1,013	1,252	1,002	1,730	0,088	0,439	0,000	1,788	1,058
Mg	0,340	0,372	0,366	0,361	0,380	0,697	0,153	0,028	0,030	0,075
Ca	0,006	0,000	0,009	0,012	0,000	0,000	1,300	1,301	0,000	0,000
Pb	0,057	0,035	0,049	0,029	0,072	0,036	2,016	0,052	0,079	0,060
K	0,000	0,000	0,000	0,030	0,013	0,000	0,036	0,108	0,009	0,000
Na	0,550	0,587	0,549	0,589	0,565	1,275	0,474	0,061	0,155	0,152
Cs	0,000	0,000	0,005	0,021	0,000	0,028	0,031	0,000	0,000	0,030
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,570	0,000	4,260	5,008
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	12,412	12,386	12,369	12,417	12,463	14,289	14,850	12,066	16,284	17,061

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (3, 4, 6) - U (2, 7*), SO₃ (todas) - avaliado para todas.

continuação

RAMES - 5652													
OXÍDOS	1 b	2 b	3 b	4 b	5 b	6 c	8 b	9 c	10 i	11 c	12 i	13 b	14 i
Análises													
WO ₃	0,45	0,13	0,00	0,00	0,00	0,72	1,00	0,00	0,64	0,00	2,75	0,35	1,43
Nb ₂ O ₅	65,40	73,86	71,74	70,10	71,31	70,35	68,41	68,75	69,37	70,83	16,85	63,82	16,14
Ta ₂ O ₅	7,74	7,09	8,45	8,96	7,81	7,31	9,62	8,75	9,03	8,39	27,76	9,12	26,62
P ₂ O ₅	nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,06	0,70	0,89	nd	nd	nd
TiO ₂	0,41	0,31	0,45	0,43	0,40	0,32	0,36	0,45	0,59	0,36	1,11	0,50	0,96
SnO ₂	0,00	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,57
ZrO ₂	nd	0,97	0,89	0,92	1,47	1,75	1,27	1,72	0,00	1,49	nd	nd	nd
ThO ₂	nd	0,00	0,00	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	15,40	0,00	13,14
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	32,38	11,96	30,76
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	nd	0,11	0,68	0,29	0,00	0,15	0,21	0,65	1,33	0,00	nd	nd	nd
FeO	10,56	10,38	9,77	10,02	10,96	10,63	10,29	10,94	9,96	10,94	1,59	10,32	0,09
MnO	3,98	3,84	4,42	4,23	4,55	4,19	4,12	4,36	4,40	4,38	0,40	3,90	0,00
MgO	nd	0,46	1,29	1,19	1,14	1,33	1,37	0,43	0,66	1,17	nd	nd	nd
CaO	0,00	0,06	0,03	0,00	0,00	0,11	0,09	0,00	0,01	0,04	0,50	0,00	4,76
PbO	nd	0,73	0,78	0,80	0,72	1,28	1,03	1,06	0,70	0,89	nd	nd	nd
K ₂ O	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,22	1,53	1,87	1,59	1,64	1,85	1,82	1,47	1,81	1,52	1,17	0,03	3,04
Cs ₂ O	nd	0,53	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00	0,53	0,10	0,00	nd	nd	nd
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	2,55
Hf	nd	0,00	0,09	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,58	0,00	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂													
W	0,025	0,007	0,000	0,000	0,000	0,043	0,060	0,000	0,038	0,000	0,146	0,019	0,078
Nb	6,171	7,677	7,419	7,357	7,408	7,337	7,194	7,301	7,245	7,382	1,566	6,009	1,525
Ta	0,439	0,443	0,529	0,566	0,488	0,459	0,609	0,559	0,567	0,526	1,552	0,517	1,514
P	nd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,139	0,000	nd	nd	nd
Ti	0,064	0,054	0,079	0,074	0,069	0,056	0,063	0,079	0,102	0,062	0,171	0,079	0,151
Sn	0,000	0,000	0,000	0,024	0,000	0,000	0,030	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,047
Zr	nd	0,108	0,100	0,124	0,165	0,197	0,144	0,197	0,000	0,167	nd	nd	nd
Th	nd	0,000	0,000	0,009	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0,704	0,000	0,611
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	6,659	2,490	6,432
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	nd	0,013	0,083	0,035	0,000	0,019	0,026	0,082	0,163	0,000	nd	nd	nd
Fe	1,842	1,997	1,880	1,935	2,105	2,050	2,002	2,148	1,924	2,109	0,274	1,797	0,006
Mn	0,703	0,749	0,862	0,833	0,886	0,818	0,811	0,868	0,860	0,855	0,070	0,687	0,000
Mg	nd	0,159	0,426	0,413	0,391	0,456	0,474	0,149	0,229	0,403	nd	nd	nd
Ca	0,000	0,052	0,006	0,000	0,000	0,028	0,022	0,000	0,004	0,011	0,111	0,000	1,068
Pb	nd	0,045	0,048	0,050	0,044	0,079	0,064	0,067	0,043	0,055	nd	nd	nd
K	0,011	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,089	0,684	0,832	0,718	0,729	0,829	0,823	0,668	0,810	0,678	0,468	0,013	1,230
Cs	nd	0,052	0,000	0,023	0,000	0,000	0,000	0,053	0,010	0,000	nd	nd	nd
F	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	1,685
Hf	nd	0,000	0,006	0,050	0,000	0,000	0,000	0,000	0,038	0,000	nd	nd	nd
TOTAL	11,683	12,003	12,269	12,206	12,286	12,371	12,351	12,254	12,183	12,248	11,726	11,611	14,345

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (2, 4, 6, 9, 10, 11) - U (3, 4, 9) avaliado para todas.

7 c - mesmo do 6 c

continuação

JOSÉ PEREIRA - 5648							
ÓXIDOS	1 b	2 c	3 i	4 b	5 i	5A i	6 i
Análises							
WO ₃	0,00	0,00	1,21	1,56	0,00	0,00	0,34
Nb ₂ O ₅	4,39	4,35	1,18	9,34	4,72	0,94	0,00
Ta ₂ O ₅	80,56	79,74	2,65	69,86	63,05	1,18	0,00
P ₂ O ₅	nd	nd	0,00	0,65	0,00	1,00	0,00
TiO ₂	0,20	0,05	0,38	0,00	0,12	0,66	0,00
SnO ₂	0,23	0,69	0,38	0,21	14,29	0,00	0,10
ZrO ₂	nd	nd	0,86	0,00	1,54	1,15	71,39
ThO ₂	nd	nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	nd	nd	0,00	3,67	3,00	0,00	0,00
FeO	1,81	1,83	0,24	2,02	1,95	0,10	0,00
MnO	12,12	12,47	85,10	10,66	9,02	82,56	0,17
MgO	nd	nd	0,02	1,50	1,37	0,35	2,00
CaO	0,00	0,00	0,25	0,00	0,00	0,38	0,00
PbO	nd	nd	0,28	0,23	0,27	0,62	0,00
K ₂ O	nd	nd	3,54	0,00	0,00	3,99	0,11
Na ₂ O	0,69	0,87	0,43	0,30	0,50	2,16	1,38
Cs ₂ O	nd	nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22
F	0,00	0,00	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	0,00	0,00	0,00	23,03
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂							
W	0,000	0,000	0,091	0,126	0,000	0,000	0,023
Nb	0,656	0,849	0,155	1,315	0,675	0,122	0,000
Ta	7,236	7,159	0,210	5,917	5,421	0,092	0,000
P	nd	nd	0,000	0,173	0,000	0,242	0,000
Ti	0,050	0,013	0,082	0,000	0,028	0,141	0,000
Sn	0,030	0,090	0,044	0,026	1,801	0,000	0,010
Zr	nd	nd	0,122	0,000	0,237	0,161	9,308
Th	nd	nd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	nd	nd	0,000	0,609	0,505	0,000	0,000
Fe	0,499	0,505	0,058	0,572	0,517	0,023	0,000
Mn	3,391	3,488	20,975	2,811	2,415	20,039	0,039
Mg	nd	nd	0,007	0,696	0,648	0,148	0,795
Ca	0,000	0,000	0,079	0,000	0,000	0,116	0,000
Pb	nd	nd	0,022	0,019	0,023	0,048	0,000
K	nd	nd	1,313	0,000	0,000	1,460	0,037
Na	0,440	0,559	0,245	0,183	0,310	1,198	0,713
Cs	nd	nd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,025
F	0,000	0,000	nd	nd	nd	nd	nd
Hf	nd	nd	nd	0,000	0,000	0,000	1,757
TOTAL	12,302	12,464	23,801	12,402	12,617	24,343	12,924

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (3, 6) - SO₃ (5i, 6i)- avaliado para todas.

continuação

DOCA E HELDER - 5658A															
ÓXIDOS	1 b	2 b	3 b	4 b	5 b	6 c	7 i	8 i	9 i	10 c	11 b	12 i	13 i	14 i	15 i
Análises															
WO ₃	0,00	0,83	0,33	0,00	0,00	0,00	2,89	0,00	2,03	0,00	0,00	0,98	0,89	0,59	0,00
Nb ₂ O ₅	40,46	26,18	23,04	28,28	14,59	33,21	14,21	32,92	27,11	26,88	30,67	8,04	23,52	17,52	21,42
Ta ₂ O ₅	39,18	48,28	50,88	42,53	46,29	33,92	60,03	31,88	47,23	39,71	34,09	76,97	40,80	58,47	44,80
P ₂ O ₅	0,79	0,00	0,00	0,00	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,16	0,61	0,00	1,12	0,00	0,00
TiO ₂	0,22	0,00	0,18	0,10	0,03	0,34	0,20	0,33	0,20	0,14	0,05	0,78	0,13	0,00	0,12
SnO ₂	0,25	0,00	0,36	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,06
ZrO ₂	0,00	1,36	1,42	1,48	0,00	1,71	1,93	1,59	1,78	0,45	0,54	1,96	0,00	1,50	1,68
ThO ₂	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
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	4,48	0,00	3,58	22,91	11,27	0,00	12,91	0,00	14,19	14,16	0,00	15,81	0,00	14,87
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	2,28	4,04	3,70	3,37	0,00	1,36	3,63	1,74	4,27	2,47	1,55	4,11	1,60	4,28	1,38
FeO	3,82	3,10	3,18	3,83	2,82	3,35	3,00	3,16	3,35	2,93	3,47	1,47	3,30	3,56	3,12
MnO	10,71	8,69	8,49	8,56	7,32	9,78	8,10	9,45	9,08	8,22	9,18	0,34	7,78	8,95	8,15
MgO	1,18	1,35	1,47	0,94	0,32	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00
CaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,39	0,07	0,00	0,00
PbO	0,70	0,88	1,34	1,36	0,50	0,72	1,25	0,77	1,31	0,74	0,89	2,67	0,83	0,99	0,60
K ₂ O	0,00	0,00	0,02	0,00	0,08	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,40	0,80	0,40	0,12	0,34	0,06	0,21	0,22	0,21	0,25	0,29	0,29	0,15	0,28	0,19
Cs ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,05	0,08	0,01	0,29	0,00	0,00	0,00
F	nd	nd	5,19	5,60	4,12	4,27	4,50	5,04	3,38	3,78	4,45	0,47	4,01	3,53	3,63
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂															
W	0,000	0,058	0,026	0,000	0,000	0,000	0,243	0,000	0,156	0,000	0,000	0,084	0,055	0,048	0,000
Nb	4,824	3,172	3,181	3,616	1,511	3,687	2,080	3,601	3,640	2,959	3,311	1,195	2,545	2,493	2,390
Ta	2,810	3,518	4,225	3,271	2,883	2,265	5,285	2,097	3,813	2,628	2,213	6,884	2,656	5,005	3,008
P	0,176	0,000	0,000	0,000	0,125	0,000	0,000	0,000	0,000	0,033	0,122	0,000	0,227	0,000	0,000
Ti	0,044	0,000	0,041	0,021	0,005	0,062	0,048	0,061	0,044	0,026	0,010	0,193	0,023	0,000	0,022
Sn	0,026	0,000	0,044	0,029	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,042	0,006
Zr	0,000	0,178	0,211	0,205	0,000	0,205	0,305	0,187	0,258	0,054	0,063	0,314	0,000	0,229	0,202
Th	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
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	1,201	0,000	1,011	5,248	2,768	0,000	3,124	0,000	3,455	3,380	0,000	3,784	0,000	3,671
Al	nd	nd	nd	nd	nd	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Y	0,321	0,576	0,602	0,508	0,000	0,177	0,625	0,223	0,674	0,320	0,197	0,720	0,204	0,718	0,181
Fe	0,843	0,695	0,811	0,906	0,540	0,688	0,811	0,639	0,831	0,596	0,692	0,405	0,661	0,936	0,644
Mn	2,393	1,973	2,195	2,050	1,421	2,035	2,223	1,936	2,284	1,694	1,857	0,096	1,577	2,386	1,703
Mg	0,466	0,539	0,669	0,395	0,109	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,115	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,490	0,018	0,000	0,000
Pb	0,050	0,064	0,110	0,103	0,031	0,048	0,109	0,050	0,105	0,049	0,057	0,236	0,053	0,084	0,040
K	0,000	0,000	0,007	0,000	0,023	0,000	0,010	0,000	0,000	0,000	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000
Na	0,203	0,417	0,239	0,064	0,149	0,030	0,129	0,102	0,121	0,118	0,132	0,184	0,069	0,168	0,090
Cs	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,007	0,008	0,001	0,041	0,000	0,000	0,000
F	nd	nd	5,008	5,006	2,984	3,318	4,606	3,853	3,175	2,908	3,358	0,485	3,039	3,513	2,831
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	12,156	12,390	17,371	17,186	15,038	15,282	16,480	15,874	15,108	14,848	15,412	11,443	14,912	15,623	14,787

continua

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (4, 5, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15) - U (1, 3, 4, 6, 10, 12), SO₃ avaliado para todas.

continuação

DOCA E HELDER - 5658B (tabular)									
ÓXIDOS	1 b	2 z	3 z	4 z	5 b	6 i	7 i	8 c	9 b
Análises									
WO ₃	0,07	0,69	0,00	0,99	0,00	0,23	0,00	0,00	0,00
Nb ₂ O ₅	19,33	25,43	25,37	29,70	21,97	10,07	5,99	20,00	20,29
Ta ₂ O ₅	55,69	47,96	49,58	44,62	51,94	71,81	70,85	55,76	56,28
P ₂ O ₅	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
TiO ₂	0,29	0,27	0,15	0,40	0,26	0,53	0,04	0,12	0,26
SnO ₂	0,07	0,47	0,00	0,00	0,30	0,00	0,11	0,00	0,00
ZrO ₂	1,34	1,25	1,38	0,86	1,64	2,86	2,34	1,84	1,34
ThO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	00,00	0,00	0,00
UO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SiO ₂	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al ₂ O ₃	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y ₂ O ₃	3,28	2,21	2,42	1,79	3,60	4,44	2,93	3,20	3,22
FeO	3,59	3,79	4,81	2,99	3,13	0,64	0,22	3,77	2,94
MnO	9,00	9,76	8,12	11,83	8,94	1,19	0,20	8,71	9,26
MgO	1,56	1,26	1,39	1,02	1,26	1,61	1,44	0,49	0,63
CaO	0,01	0,05	0,06	0,00	0,00	1,91	6,75	0,00	0,00
PbO	0,74	1,17	0,64	0,68	1,36	3,00	1,70	1,65	0,71
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,06	0,06	0,00
Na ₂ O	0,41	0,30	0,41	0,28	0,38	0,18	4,37	0,04	0,00
Cs ₂ O	0,00	0,00	0,03	0,16	0,09	0,35	0,00	0,08	0,00
F	4,72	5,40	5,63	4,60	5,11	1,17	3,01	4,27	5,06
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
a.f.u. - 24 O ₂									
W	0,005	0,054	0,000	0,075	0,000	0,020	0,000	0,000	0,000
Nb	2,703	3,465	3,462	3,923	3,053	1,466	0,876	2,824	2,863
Ta	4,684	3,932	4,070	3,546	4,342	6,285	6,235	4,736	4,776
P	0,000	0,000	0,000	0,054	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ti	0,067	0,061	0,034	0,089	0,060	0,128	0,010	0,027	0,062
Sn	0,009	0,057	0,000	0,000	0,037	0,000	0,014	0,000	0,000
Zr	0,201	0,184	0,203	0,122	0,246	0,449	0,369	0,281	0,204
Th	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
U	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Si	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Al	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
Y	0,540	0,355	0,389	0,279	0,590	0,760	0,504	0,532	0,535
Fe	0,930	0,955	1,214	0,732	0,804	0,172	0,060	0,985	0,766
Mn	2,357	2,492	2,075	2,929	2,327	0,325	0,055	2,303	2,448
Mg	0,719	0,566	0,625	0,446	0,578	0,773	0,694	0,229	0,295
Ca	0,003	0,015	0,020	0,000	0,000	0,660	2,342	0,000	0,000
Pb	0,061	0,095	0,052	0,054	0,113	0,260	0,148	0,139	0,060
K	0,000	0,000	0,000	0,022	0,000	0,000	0,023	0,026	0,000
Na	0,244	0,174	0,241	0,159	0,229	0,115	2,740	0,023	0,000
Cs	0,000	0,000	0,004	0,020	0,012	0,047	0,000	0,011	0,000
F	4,617	5,147	5,373	4,255	4,971	1,186	3,082	4,220	4,994
Hf	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
TOTAL	17,121	17,551	17,764	16,652	17,361	12,646	17,151	16,335	17,003

OBS: elementos que apresentaram contagem - Sc (3, 4, 5, 6, 7, 8) - U (6, 7) - avaliado para todas.

Tabela 39 - Dados dos parâmetros unitários das várias amostra de nióbio-tantalatos procedentes dos pegmatitos estudados neste trabalho. (*) amostras de Marciano (1985).

n ^o	código	lavra	a ₀ (Å)	b ₀ (Å)	c ₀ (Å)	V (Å)	espécime
4	5573D	Ipê	5,7463	14,2980	5,0934	418,4762	ferrocolumbita
4	5573D		14,2133	5,7238	5,0933	414,3644	manganocolumbita
6	5573E		5,7399	14,3087	5,0688	416,3003	ferrocolumbita
7	5573A		5,7389	14,2789	5,0972	417,6904	ferrocolumbita
8'	5573B						manganocolumbita
8"	5573B		5,7415	14,3230	5,0752	417,3629	ferrocolumbita
9	5573C		5,7380	14,3023	5,0936	418,0135	ferrocolumbita
10'	5573G		5,7419	14,3434	5,0789	418,2950	ferrocolumbita
10"	5573G		5,7415	14,3466	5,0909	419,3460	ferrocolumbita
13	5573F		5,7422	14,2857	5,0778	416,5370	ferrocolumbita
	2237*	Ferreirinha I	5,7340	14,2650	5,0790	415,49	
	2271*		5,7260	14,2290	5,0990	415,44	
	2525*		5,7250	14,2380	5,0970	415,46	
	1477*	Olho de Gato	5,7230	14,236	5,0970	415,28	
	1468*		5,7310	14,242	5,0840	414,96	
19	5577A		5,7642	14,3418	5,0023	413,5302	ferrocolumbita
19	5577A		4,7462	4,7462	3,1854	71,7578	cassiterita
19'	5577A		4,7324	4,7324	3,1836	71,2979	cassiterita
19"	5577A		5,7674	14,4692	5,1131	426,6864	manganotantalita
20	5577B		5,7382	14,2648	5,1325	420,1190	ferrocolumbita
20'	5577B		5,7762	14,4528	5,0898	424,9060	manganotantalita
20'	5577B		4,8077	5,7275	5,1448	141,6675	ixiolita
14	5620A	Jonas Lima II	5,7642	14,3596	5,0721	419,8230	ferrocolumbita
16	5620B		5,7476	14,3164	5,0871	418,5905	ferrocolumbita
5	5774A	Jonas Lima I	5,7455	14,0961	5,0761	411,1088	ferrocolumbita
12	5774B		5,7328	14,3173	5,0896	417,7413	ferrocolumbita
18'	5661	Faz, Japonesa	5,7493	14,2849	5,0750	416,8006	ferrocolumbita
18'	5661		5,7787	14,5246	5,0907	427,2864	manganotantalita
1	5664	Golconda III	5,7431	14,3228	5,1170	420,9073	ferrocolumbita
3	5775	Golconda I	14,2903	5,7618	5,0911	419,1940	manganocolumbita
3'	5775		5,7546	14,3563	5,0746	419,2417	ferrocolumbita
3'	5775		5,7463	14,4494	5,0872	422,3943	manganotantalita
17	5683	Escondido	5,7488	14,3233	5,0820	418,4632	ferrocolumbita
17'	5683		5,7255	14,4519	5,0983	421,8603	manganotantalita
15	5655	Toninho	5,7590	14,3759	5,0705	419,7875	ferrocolumbita
11'	5639	Alberto	5,7510	14,3179	5,0705	417,5178	ferrocolumbita
11"	5639		5,7449	14,2940	5,0594	415,4656	ferrocolumbita
11'''	5639		5,7399	14,3459	5,0678	417,3043	ferrocolumbita
2	5652	Rames	5,7420	14,3011	5,0610	415,5927	ferrocolumbita
2	5652		14,2291	5,7255	5,0849	414,2594	manganocolumbita
23	5648C	José Pereira	x	x	x	x	(amostra de coleção)
24	5648A		5,7613	14,4033	5,0972	422,9738	ferrocolumbita
24'	5648A		5,7625	14,4141	5,0896	422,7422	ferrocolumbita
21	5658A	Doca e Helder	5,7463	14,3309	5,0751	417,9363	ferrocolumbita
22	5658B		5,7443	14,3402	5,0825	418,6718	ferrocolumbita
22'	5658B		5,7499	14,4840	5,0805	423,1165	manganotantalita

Fotomicrografia 1 - *Várias seções de nióbio-tantalatos típicas exibindo zonamento composicional e com inclusões que muitas vezes também aparecem com zonamento. As fotomicrografias foram tiradas no microscópio eletrônico de varredura do DEMIN/EE/UFMG. a) Lavra da Fazenda da Japonesa - Amostra 5661 (Foto 1948) - Área analisada na matriz ($Ta > Nb$ e $Fe > Mn$), correspondente à análise de número 5, que se apresenta intensamente zonada, exibindo faixas de crescimento bastante nítidas; b) Lavra do Rames - Amostra 5652 (Foto 1958) - Análise de uma área na zona mais clara de uma inclusão onde o $Ta > Nb$, Si e U são os outros dois elementos mais abundantes. Representada pela análise de número 5; c) Lavra do Toninho - Amostra 5655 (Foto 1932) - Área da seção de tantalita $Ta > Nb$ e $Mn > Fe$, com 3 inclusões de microlita, na parte superior da foto. A composição apresenta: Ta, Ca, Na e F, referentes às análises 1 (inclusão triangular à esquerda), 2 (inclusão menor acima da de número 1), 9 (ponto central da inclusão do lado direito) e 10 (ponto na borda da mesma inclusão); e) Lavra do Toninho - Amostra 5655 (Foto 1933) - Zoneamento de microlita (análise número 11) na matriz da amostra de tantalita (análise número 12). Observa-se uma variação de coloração nas faixas claras que representam variações composicionais.*

Fotomicrografia 2 – Várias seções de nióbio-tantalatos típicas exibindo zonamento composicional e com inclusões que muitas vezes também aparecem com zonamento. As fotomicrografias foram tiradas no microscópio eletrônico de varredura do DEMIN/EE/UFMG. a) Lavra do Jonas Lima I. Amostra 5574 - 1b (Foto 1984) - Inclusão dentro de uma fratura. A inclusão apresenta-se totalmente zonada. Desta inclusão foram obtidas três análises: 4 - na área branca, 4a - na área cinza clara e 4b - na porção cinza escuro. São plumbomicrolitas, com teores elevados de Y e Zr; b) Lavra do Jonas Lima I. Amostra 5574 - 1b (Foto 1985) - Visão maior da área de onde a foto 1984 é um detalhe; c) Lavra do Doca e Helder - Amostra 5658 tab. (Foto 1970) - Esta foto apresenta na porção inferior, à esquerda, a matriz onde $Ta > Nb$ e $Mn > Fe$ (análise 5), e próximo a um buraco, numa área mais escura nota-se um enriquecimento em Nb e Mn, porém Ta ainda é maior do que Nb (análise 4); e) Lavra do Doca e Helder - Amostra 5658 (Foto 1972) - Esta amostra exibe a matriz onde $Nb \gg Ta$, $Mn > Fe$ (análise 1), e áreas mais claras onde há um aumento no teor de Ta e Mn, exibindo ainda o dobro da quantidade de Y (4%) e Zr (1,5%).

Foram analisadas, por microscopia eletrônica de varredura para obtenção de dados químicos qualitativos, seções delgadas-polidas de amostras de nióbio-tantalatos, distribuídas da forma expressa na Tabela A. Fato merecedor de destaque está relacionado à coleta dessas amostras. Nenhuma delas foi retirada no local de origem, sendo todas elas obtidas através de doação ou recolhida nos depósitos das lavras. Na coluna, denominada observações, da tabela abaixo, são encontradas indicações muito importantes de serem consideradas de uma forma especial, quando da análise geoquímica do Campo Pegmatítico de Marilac.

Tabela A - Dados sobre as amostras de nióbio-tantalatos analisadas por microscopia eletrônica de varredura.

Lavra	Nº de Seções	Inclusões	Nb/Ta	Observações
Ipê	07	zirconita tantalita	1,116 - 1,994	corpo grande com muitas galerias e zonas expostas
Olho de Gato	02	cassiterita wodginita	0,087 - 2,024	corpo grande com muitas galerias e zonas expostas
Jonas Lima II	02	cassiterita	0,124 - 0,694	corpo grande com muitas galerias e zonas expostas
Jonas Lima I	02	plumbomicrolita (?)	1,178 - 1,387	corpo grande com muitas galerias e zonas expostas
Faz. Japonesa	01	não detectada	0,467 - 1,216	lavra paralisada
Golconda I	01	tantalita	0,319 - 1,149	corpo grande com muitas galerias e zonas expostas
Escondido	01	tantalita columbita	0,429 - 0,938	corpo grande com muitas galerias e zonas expostas
Urbano	01	não detectada	3,677 - 8,814	início dos trabalhos de lavra
Toninho	01	microlita	0,043 - 0,490	corpo com muitas galerias
Alberto	01	columbo-tantalita, cassiterita	1,609 - 1,997	início dos trabalhos de lavra
Rames	01	uranomicrolita	6,40 - 6,945	início dos trabalhos de lavra
José Pereira	01	romanechita, wodginita, zirconita	0,05 - 0,10	início dos trabalhos de lavra
Doca e Helder	02	microlita	0,322 - 0,506	início dos trabalhos de lavra

O valor para a razão Nb/Ta dos minerais da série columbo-tantalita neste Campo, variou desde 8,814, de amostras mais ricas em nióbio, até 0,043, daquelas portadoras de maior teor em tântalo. Como esta razão é empregada na avaliação dos corpos pegmatíticos, no que diz respeito à sua potencialidade econômica, deve-se considerar que, os maiores valores para esta razão são procedentes de lavras em início de processo de abertura. Há lavras que apesar de estarem na mesma situação de trabalho que as anteriormente citadas, exibem razões tão baixas como Nb/Ta = 0,05 - 1,0. Pelo exposto, pode-se esperar que as lavras com razões altas para Nb/Ta possam conter nióbio-tantalatos onde a quantidade de tântalo seja maior, e aquelas que já apresentam razões muito baixas alcancem razões cada vez mais baixas, à medida que a exploração do corpo for se aproximando do núcleo e ou unidades de substituição.

As inclusões presentes nas amostras são, a maioria das vezes, constituídas por espécies da série columbo-tantalita, com maior teor em tântalo daquele encontrado na matriz, ou muito ricas em nióbio. A maior concentração dos elementos, Sn, U, Pb, Ca, Na, Zr, Mn, comuns na qualidade de elementos-traço, é a responsável pelo aparecimento das diferentes inclusões. Há seções que se mostraram bastante homogêneas, nas quais não foram identificadas inclusões.

Os gráficos da Figura A, B e C, exibem a relação entre o nióbio e o tântalo. Em dois deles, as 19 amostras de 10 pegmatitos, exibem uma tendência de enriquecimento em tântalo desde 10 até 75%, acompanhada de uma de redução do nióbio de 40 a 0%. Os pegmatitos, de “per si”, cobrem áreas dentro deste *trend*, entretanto as análises das duas amostras da Lavra Olho-de-Gato recobrem, praticamente, todos os intervalos, como pode-se observar na Figura C. Deste pegmatito, as análises de uma das amostras são todas inferiores à 40% em tântalo, enquanto as da outra amostra exibem a maioria dos valores iguais ou maiores do que 40%. Vê-se desta maneira que, além do número de amostras por lavra ser bem restrito, na maioria dos casos, estas análises são “semi-quantitativas”, onde elementos como o Sc e os terras raras não foram avaliados.

Através das análises destes minerais, pode-se notar que os corpos pegmatíticos Toninho, Jonas Lima II, Olho-de-Gato e Golconda I são aqueles que apresentam percentuais para o tântalo acima de 40%, dados estes concordantes com os obtidos para a classificação dos pegmatitos por meio das análises de berilo, micas e feldspatos. As áreas ocupadas por estes corpos concentram elementos alcalinos raros, bem como Ta, Sn e F.

Considerando as análises de áreas de zoneamento, pode-se notar que as análises obtidas nelas apresentam teores mais elevados em Ta, em sua maioria, entretanto com teores elevados em Fe em vez de ser Mn. Spilde & Shearer (1992) apresentam o gráfico $Ta/(Ta+Nb)$ versus $Mn/(Mn+Fe)$, onde os quatro vértices são ocupados pelas composições extremas, da seguinte forma: abscissa inferior esquerda $FeNb_2O_6$, inferior direita $MnNb_2O_6$, abscissa superior esquerda $FeTa_2O_6$ e direita $MnTa_2O_6$. A faixa paralela à abscissa superior, que abrange os valores mais altos em Ta, desde uma extremidade à outra, corresponde ao campo representativo dos processos tardios. Nesta área caem as análises dos zoneamentos onde $Ta > Nb$ e $Fe > Mn$.

Figura A - Relação Nb/Ta dos nióbios-tantalatos dos pegmatitos do Campo Pegmatítico de Marilac. Azul representa as análises do Pegmatito Ipê, rosa – Doca e Helder, laranja – Golconda I, verde escuro – Alberto, verde claro – Jonas Lima II e lilás – Jonas Lima I.

Figura B - Relação Nb/Ta dos nióbios-tantalatos dos pegmatitos do Campo Pegmatítico de Marilac. Azul representa as análises do Pegmatito do Urbano, rosa – Toninho, laranja – Faz. Japonesa e verde claro – Escondido.

Figura C - *Relação Nb/Ta dos nióbios-tantalatos dos pegmatitos do Campo Pegmatítico de Marilac. As seqüências representam análises de duas amostras da Lavra Olho de Gato.*

Os seis gráficos que são encontrados abaixo, expressam, de uma maneira mais nítida, as tendências de fracionamento dos vários pegmatitos do Campo de Marilac. Ao ser estabelecida a comparação entre eles, pode-se afirmar que os pegmatitos mais evoluídos desta área, são em ordem decrescente da razão $Ta/(Ta+Nb)$ versus $Mn(Mn+Fe)$: Toninho, Escondido, Doca e Helder, Jonas Lima II, Golconda, Olho-de-Gato, Jonas Lima I, Japonesa, Alberto, Ipê, Urbano.

No volume 36 (2) de 1998, da *Canadian Mineralogist*, são encontrados oito trabalhos sobre óxidos de tântalo e nióbio. Comparando os dados encontrados nestes trabalhos com os obtidos para esta tese, pode-se observar que os teores de Y e Zr encontrados para várias amostras deste Campo Pegmatítico são, consideravelmente mais elevados, o que caracteriza uma distinção. Os intervalos para os valores para $Y_2O_3 = 0,00$ a $6,00$ e os de $Zr = 0,00$ a $7,00$.

Figura 50 - Relações $Ta/(Ta+Nb)$ versus $Mn/(Mn+Fe)$ de diversos pegmatitos do Campo de Marilac. Nos dois últimos diagramas, relação $(Ta+Nb) \times (Mn+Fe)$ e $(Ta+Nb) \times (Sn+Ti)$ do Pegmatito Ipê.

Os valores de c_0/a_0 dos parâmetros de cela unitária das amostras identificadas como ferrocolumbitas lançados no diagrama de Cerný *et al.* (1986) (Figura 51), permitiram classificá-las, em sua maior parte, como de politipo ordenado. Os dados relacionados anteriormente, indicando o grau de ordenamento do mineral, levam a classificá-las como de politipos ordenadas passando a desordenadas, possibilitando inferir que haja um granito parental na área em estudo, no caso o Açucena.

Figura 51 - Diagrama $c_0 \times a_0$ de ordem-desordem de nióbio-tantalatos de Cerný *et al.* (1986), com as várias amostra de ferrocolumbita dos diversos corpos da área estudada. Entre as duas linhas cheias, o grau de ordem-desordem varia gradualmente.

8.2 - POTENCIALIDADE ECONÔMICA

Quanto ao aspecto econômico, o nióbio é utilizado no aço para a fabricação de reatores atômicos, motores de propulsão a jato, foguetes espaciais e outros, a partir de ligas resistentes a altas temperaturas. Normalmente este elemento encontra-se associado ao tântalo, sendo este

último um metal praticamente impermeável à corrosão e utilizado em reparos cirúrgicos no corpo humano, podendo substituir ossos, ou como placas para o crânio. Apresenta ainda ampla aplicação na conexão de nervos desfeitos, e para unir músculos (METAMIG 1987).

O tântalo é explotado a partir dos minerais do grupo dos nióbio-tantalatos, comumente encontrados em pegmatitos graníticos ricos em elementos raros.

A concentração de tântalo ou nióbio está ligada com a diferenciação que o líquido original sofreu. Os pegmatitos mais diferenciados são muito mais ricos em tântalo que os menos diferenciados e internamente nesses corpos, as zonas mais centrais como a intermediária são bem mais enriquecidas que as zonas mais externas.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de tântalo, sendo que a produção principal localiza-se nas Províncias Pegmatíticas Oriental e do Nordeste. No Estado de Minas Gerais a produção restringe-se a porção nordeste, na região do vale do rio Jequitinhonha. As ocorrências estão associadas a um grande número de pegmatitos ricos em elementos raros e estão associados às fases tardias da evolução magmática de suítes brasileiras que ocorreram na Faixa Araçuai.

De um modo geral, o leste mineiro é caracterizado pela extração de gemas, principalmente de pegmatitos, além dos minerais e rochas industriais. Por outro lado, esta região não é economicamente produtora de elementos metálicos. Na área do Campo Pegmatítico de Marilac, os nióbio-tantalatos são aproveitados como subproduto de outros bens minerais.

9 - OUTROS MINERAIS

Neste capítulo estão reunidos dados da mineralogia acessória dos diversos pegmatitos do Campo de Marilac. A mineralogia principal, na grande maioria dos corpos, conforme já foi discutido nos capítulos antecedentes, é constituída por feldspato potássico, quartzo e muscovita. A biotita também faz parte da mineralogia principal para um número menor de corpos.

Como já foi informado no segundo capítulo, não há uma concordância entre os nomes dos pegmatitos publicados em trabalhos científicos, ano após ano. Assim sendo, para aqueles cujo nome ainda permanecem os mesmos, ou para aqueles que apesar da mudança sabe-se o nome antigo, serão discriminados por autor com os respectivos nomes dos pegmatitos.

Os tipos de bibliografias que possuem minerais acessórios e secundários listados por pegmatito recaem, principalmente, nas dissertações ou teses. Raramente artigos relacionados com a área escolhida para esta Tese, trazem uma relação de minerais pertencentes a um dado pegmatito.

Os trabalhos de maior relevância para este propósito foram a Tese de Wegner (1983), as Dissertações de Marciano (1985) e Santos (1985) e o trabalho de Netto *et al.* (1999). No trabalho de Santos (1985), a coleta dos espécimes foi feita em concentrado de rejeito, que além dos minerais do próprio pegmatito, também lista os das rochas encaixantes, sem contudo fazer um tratamento distinto.

No trabalho do Wegner (1983), dos 25 pegmatitos estudados, todos localizados no Estado de Minas Gerais e pertencentes a Província Pegmatítica Oriental do Brasil, apenas 4 fazem parte da área desta Tese que são: Córrego Alto, Cabeceira do Onça, Olho-de-Gato e Ipê. Não foi possível correlacionar os dois primeiros corpos citados com qualquer dos demais abordados em outros trabalhos, tanto os anteriores como os mais recentes. Na Dissertação de Marciano (1985), todos os 4 pegmatitos pertencem a área alvo desta Tese. Dois deles permanecem com os mesmos nomes, Boi e Olho-de-Gato, enquanto Farias e Ferreirinha passaram a se chamar, respectivamente, Jonas Lima I e Ferreirinha I. Quanto à Dissertação de Santos (1985), esta

questão de nomes é um pouco mais complicada. Além da não coincidência das lavras como informado no segundo capítulo, a identificação das fases mineralógicas foi baseada, principalmente, em testes ópticos seguido de difração de raios X e espectroscopia de emissão, sem contudo apresentar análises químicas. Este pesquisador estudou 51 pegmatitos, que pelo seu mapa, 37 deles estão dentro da área escolhida para esta Tese. Apenas 6 pegmatitos puderam ser identificados: Crioulo, Boi, Olho-de-Gato (segundo este autor, este pegmatito apresenta o maior número de espécies, 35, das 42 encontradas no seu estudo), Golconda I (Golconda), Jonas Lima I (Jonas I) e Jonas Lima II (Jonas II). Os pegmatitos do Farias I e II de Santos (1985) não são os mesmos apresentados no trabalho de Netto *et al.* (1999) e nem correspondem ao pegmatito Farias de Marciano (1985).

Apesar de alguns cristais de turmalinas negras, verdes e róseas, granada, autunita e apatita terem sido coletadas durante as várias etapas de campo, não foram objeto de caracterização mineral desta Tese. As demais espécies citadas na literatura não foram encontradas durante os trabalhos de campo. Segundo informações dos atuais donos dos pegmatitos ou garimpeiros que trabalham na região, não é do conhecimento de muitos deles, como por exemplo, a ocorrência de monazita ou de xenotímio, entre outros.

A seguir, será apresentada na Tabela (40) autor, pegmatito e mineralogia acessória para aqueles corpos que possuem correlação com os atuais. Para os demais pegmatitos descritos pelos autores anteriormente citados, será informado somente a mineralogia sem a correlação com seus respectivos pegmatitos. Alguns autores, por vezes, só relacionam o nome do grupo mineral sem caracterizar a espécie. A mineralogia citada por Ribeiro (1997) encontra-se listada no capítulo 4, na Tabela 5.

Tabela 40 - Relação dos minerais acessórios dos pegmatitos do Campo de Marilac, segundo Wegner (1983), Marciano (1985) e Santos (1985). O termo em parênteses corresponde a denominação atual do pegmatito.

AUTOR	PEGMATITO	MINERALOGIA ACESSÓRIA
Wegner (1983)	Ipê	albita, berilo (água-marinha), granada (almandina), columbita
Wegner (1983)	Olho-de-Gato	albita, cleavelandita, lepidolita, turmalina preta e corada, berilo (água-marinha, morganita), apatita, columbita, granada (almandina), fosfato, ? (torbenita, metaankoleíta)

continua

continuação

AUTOR	PEGMATITO	MINERALOGIA ACESSÓRIA
Marciano (1985)	Olho-de-Gato	óx. de manganês, columbo-tantalita, apatita, autunita, herderita, torbenita, metaankoleíta, biotita, caulinita, albita, microclínio, berilo, bertrandita, bavenita, granada, turmalina
Santos (1985)	Olho-de-Gato	amblygonita, apatita, autunita, berilo, biotita, cassiterita, cleavelandita, columbita-tantalita, dravita, epidoto, espinélio, espodumênio, fosfato de Fe-Mn, gahnita, granada, hematita, hornblenda, ilmenita, lepidolita, limonita, magnetita, microclínio pertítico, monazita, óx. de manganês, quartzo (fumê, hialino), rutilo, schorl, topázio, turmalinas coradas, xenotímio, zircão
Marciano (1985)	Ferreirinha (Ferreirinha I)	autunita, biotita, granada, caulinita, albita, microclínio, óx. de manganês, columbo-tantalita, berilo, pirita
Marciano (1985)	Boi	apatita, biotita, turmalina, granada, caulinita, albita, microclínio, óx. de manganês
Santos (1985)	Boi	apatita, berilo, biotita, cassiterita, cleavelandita, columbita-tantalita, dravita, epidoto, granada, ilmenita, limonita, magnetita, microclínio pertítico, monazita, óx. de manganês, pirita limonitizada, rutilo, schorl, topázio, turmalinas coradas, xenotímio, zircão
Marciano (1985)	Farias (Jonas Lima I)	autunita, biotita, turmalina, granada, caulinita, albita, microclínio, óx. de manganês, columbo-tantalita, berilo, cookeíta
Santos (1985)	Golconda (Golconda I)	apatita, autunita, berilo, biotita, cassiterita, caulinita, cianita, cleavelandita, columbita-tantalita, epidoto, espinélio incolor, gahnita, granada, hematita, hornblenda, ilmenita, limonita, magnetita, microclínio pertítico, microlita, monazita, óx. de manganês, rutilo, schorl, topázio, turmalinas coradas, xenotímio, zircão

continua

continuação

AUTOR	PEGMATITO	MINERALOGIA ACESSÓRIA
Wegner (1983)	Córrego Alto	albita, berilo (água-marinha), granada (almandina), columbita
Wegner (1983)	Cabeceira do Onça	cleavelandita, lepidolita, shorl, elbaíta, berilo columbita, cassiterita
Santos (1985)	Jonas I (Jonas Lima I)	apatita, berilo, biotita, cassiterita, cianita, cleavelandita, columbita-tantalita, dravita, epidoto, espinélio incolor, granada, ilmenita, lepidolita, leucoxênio, limonita, magnetita, microclínio pertítico, monazita, óx. de manganês, pirita limonitizada, rutilo, schorl, topázio, turmalinas coradas, xenotímio, zircão
Santos (1985)	Jonas II (Jonas Lima II)	apatita, autunita, berilo, biotita, cleavelandita, columbita-tantalita, espinélio incolor, gahnita, granada, hematita, hornblenda, ilmenita, limonita, magnetita, microclínio pertítico, monazita, óx. de manganês, rutilo, schorl, topázio, turmalinas coradas, xenotímio, zircão
Santos (1985)	os outros 31 pegmatitos que fazem parte da área em estudo	apatita, andesina, amblygonita, apatita (em todos os pegmatitos), autunita, berilo (segundo ele, a morganita só foi encontrada no pegmatito do Jacob I; esta tinha 20cm de comprimento), biotita, cassiterita, caulinita, cianita, cleavelandita, columbita-tantalita (em 95% dos concentrados), dravita, epidoto, esmectita, espinélio incolor, espodumênio, estauroлита, feldspato potássico, fosfatos de Fe-Mn, gahnita, granada, hornblenda, hematita, ilmenita, lepidolita, leucoxênio, limonita, magnetita, microclínio pertítico, microlita (só na Golconda), monazita (em todos os pegmatitos), muscovita, oligoclásio, óxidos de manganês, pirita limonitizada, piroxênio, quartzo, rutilo, schorl, sillimanita, topázio, tremolita-actinolita, turmalinas coradas, xenotímio, em todos os pegmatitos o zircão está presente nas variedades jacinto e malaconita

10 - ZONEOGRAFIA E GEOQUÍMICA

A distribuição dos pegmatitos na área do Campo de Marilac pode ser analisada segundo vários critérios que implicarão na determinação da sua forma de gênese e evolução.

Quanto à zoneografia (distribuição de zonamentos), destacamos três tipos distintos: geográfico, estrutura dos corpos pegmatíticos e mineralógico.

O zoneamento geográfico leva-se em consideração as rochas granitóides da região. A mais distante, Ibituruna, dista, aproximadamente, 25km dos pegmatitos, o que não permite estabelecer relação de filiação genética. O segundo, Baixa do Bugre, dista 7,5km da porção norte da área pesquisada. Finalmente, temos o terceiro, Granito Açucena, distante apenas 1km do sul da área, e pertencente à Suíte Borrachudos, segundo Grossi Sad *et al.* (1990).

O segundo e o terceiro granitos, caso tenham relações cogenéticas com os pegmatitos, apresentam padrões de enriquecimento em álcalis raros, Mn, Ta, e Sn, inversas entre si.

Santos (1985) sugere um corpo granitóide não aflorante como fonte dos pegmatitos da área. Isto pode ser visualizado em um corte apresentado em sua Dissertação (Figura 52). No entanto, em outro corte (Figura 53) passando pelo mesmo corpo granitóide, com uma variação de 10° em relação ao anterior, não apresenta concordância com o modelo sugerido. Sua interpretação é baseada no modelo de Varlamoff (1972) (Figura 54), segundo o qual para os pegmatitos mais próximos do corpo granítico são mais simples e os mais distantes, mais complexos.

Os pegmatitos Olho-de-Gato, Jonas Lima I e Jonas Lima II localizam-se em um mesmo alto topográfico, e são bastante similares. Entretanto este tipo de raciocínio não se aplica aos demais corpos da área.

Os pegmatitos do Escondido e os dos "Sem Terra" (vide Tabela 15, Capítulo 4, últimos pegmatitos) localizam-se em cotas mais baixas na região, no intervalo 200 a 300 e 300 a 400m, e não obstante, apresentam mineralogia bem diversificada, com presença de minerais ricos em lítio e tântalo.

Figura 52 - Relação entre a cota e o tipo de pegmatito comparado com o trabalho de Varlamoff (1972), acerca da complexidade dos corpos em relação a proximidade do "foco ígneo" (Santos 1985).

Figura 53 - Outro perfil com uma variação de 10° em relação a figura anterior onde não há concordância com o modelo proposto por Santos (1985).

Figura 54 - Variação na complexidade dos corpos em relação à distância de um granito cogenético segundo Varlamoff (1972) e Cerný (1991b), (adaptado de Castañeda 1997).

O segundo tópico da zoneografia refere-se à estrutura dos corpos pegmatíticos. Nesta área ocorrem somente pegmatitos zonados simples de diversas dimensões. Por meio de observação de campo, nota-se que há alguns pegmatitos com um número maior de corpos de substituição e maior variedade mineralógica. A tendência observada é de que os corpos na porção nordeste da área sejam mais enriquecidos tanto em número de unidades de substituição como em número de espécies mineralógicas. Uma segunda tendência é a demonstrada pelos pegmatitos de cota 400 a 500m que apresentam características similares às das anteriores, apesar de não se encontrarem na porção nordeste da área.

O último item da zoneografia está relacionado com a mineralogia e os polítipos apresentados por alguns minerais. Os pegmatitos do Campo de Marilac são corpos pouco diferenciados, tanto por sua mineralogia quanto pela classificação química de feldspatos, micas, turmalinas, berilo e nióbio-tantalatos, de idade Brasileira.

Os feldspatos que ocorrem nestes pegmatitos são microclínio macropertitizado ($\text{Or}_{97,07-77,57}\text{Ab}_{22,12-2,88}\text{An}_{0,82-0,05}$) e albita ($\text{Ab}_{98,97-77,04}\text{Or}_{17,84-0,74}\text{An}_{9,82-0,33}$), muitas vezes cleavelandita. As análises químicas de 190 amostras de feldspatos deste campo pegmatítico apresentaram razões de K/Rb variando entre os valores 2.549,50 a 21,0; para a razão K/Cs valores entre 11.140,60 e 6,50, para Rb/Cs entre 56,4 e 0,01, para Ba/Sr 15,89 a 0,32; para Rb/Sr de 460,00 a 0,17; para K/Ba – 24.240,38 a 7,22 e para Ba/Sr – 15,89 a 0,32. Num mesmo corpo, por exemplo, o da Lavra do Escondido, a razão K/Rb varia desde 254,95 até 0,21; em outro, Lavra do José Pereira, de 10,81 à 3,39, o que reflete a evolução interna dos corpos e a concentração do rubídio em direção ao núcleo. Os teores em cério situam-se entre <5 e 3.840 (lavra do Crioulo) e os de lítio entre 9 e 34 na lavra do Olho-de-Gato. Esses dados correspondem, em sua quase totalidade, a pegmatitos potássicos na classificação de Lopes Nunes. Os dados do gráfico K/Rb versus Rb comparados à distribuição geográfica dos pegmatitos, mostraram uma tendência não linear do aumento do grau de diferenciação destes corpos na direção SW-NE, sendo que a Lavra do Escondido é a que apresentou maior concentração em elementos alcalinos raros.

Na área estudada destacam-se 3 núcleos de pegmatitos com maior grau de diferenciação. Nestes núcleos os valores para as razões citadas acima, são similares aos dos pegmatitos do tipo berilífero da classe a elementos raros (Cerný 1991a), enquanto a maioria se enquadram na classe muscovítico. Em relação à altitude, não há concordância de cota entre os corpos destes núcleos. Entretanto, estes são os únicos corpos portadores de turmalinas coradas (verde, azul e rósea), nos quais ocorrem variedades de berilo incluindo: morganita, heliodoro e goshenita. Esses pegmatitos são classificados como berilos tetraédricos de acordo com Bakakin *et al.* (1970), possuindo nióbio-tantalatos com $\text{Nb} \geq \text{Ta}$ e mica com os mais elevados teores de lítio encontradas na área.

Morteani & Gaupp (1989), em seu trabalho sobre avaliação do potencial em Ta de pegmatitos, conseguiram estabelecer, por meio dos dados citados na bibliografia as áreas de concentração dos pegmatitos, desde os muscovíticos até os à elementos raros. Utilizando a classificação elaborada por estes autores, para identificar os tipos dos pegmatitos do Campo de Marilac, verificou-se que os mesmos exibem uma tendência desde a área '2' - pegmatitos não mineralizados a Ta, alcançando a de número '3' - pegmatitos contendo Li, similares aos do grupo Rush Lake.

Se forem considerados os campos propostos por Cerný *et al.* (1986), os pegmatitos do Campo de Marilac enquadram-se nos tipos Be com tendência a Li e Be da classe pegmatitos à elementos raros (Figura 55).

Figura 55 - Variação na composição química dos feldspatos pertencentes aos pegmatitos do Campo de Marilac, mostrando enriquecimento em Li Cs e Ta, característicos de pegmatitos à elementos raros, segundo Cerný *et al.* (1986).

As razões características para o fracionamento geoquímico dos pegmatitos do tipo berilo encontradas na Tabela 10, Capítulo 4, proposta por Cerný (1991a), são similares a da maioria dos pegmatitos estudados, havendo corpos com tendência para o tipo complexo, bem como para os tipos menos evoluídos.

As micas apresentam algumas características peculiares em alguns corpos da área estudada. Nos pegmatitos da Golconda I, Golconda III e Escondido, situados na porção NE da área; Olho-de-Gato, Jonas Lima I e Jonas Lima II situados na porção central da área, as micas ocorrem em placas de 1 a 2mm de diâmetro, que por exibirem cor rosada, são denominadas erroneamente de lepidolita ou lítio pelos garimpeiros. Esta característica evidencia que estes corpos são os mais diferenciados da área estuda.

Situação idêntica à relação K/Rb x Ba foi observada no gráfico K/Rb x Ga das micas, baseado no trabalho de Cerný & Burt (1984) (Figura 56), sendo que 60% dos corpos foram classificados como do tipo berilo-columbita, ocorrendo ainda alguns da classe muscovita e outros do tipo lepidolita. Neste diagrama parece haver necessidade de expansão do campo referente ao tipo berilo-columbita, pois a maioria dos pontos referentes às micas do Campo de Marilac, caiu sobre o limite do campo do tipo lepidolita, não havendo, entretanto, correspondência entre os teores em Li da muscovita e este campo, bem como a correspondente assembléia mineral.

Figura 56 - Relação entre a razão K/Rb e a quantidade em Ga das micas das lavras do Campo de Marilac, comparada com dados publicados por Cerný & Burt (1984). A linha tracejada representa a expansão do campo do tipo berilo-columbita

Considerando os elementos Ba e Ga, os pegmatitos estudados caem no campo referente aos do tipo berilo-columbita da classe à elementos raros (Figuras 28, Capítulo 6, e 56). O elemento Ti, quando relacionado à razão da K/Rb, exibe um fracionamento com uma inversão, onde os pegmatitos mais ricos em elementos alcalinos caem mais próximos da interseção da abscissa com a ordenada e os menos evoluídos com razões mais elevadas.

Utilizando-se as razões K/Rb x Cs e K/Rb x Li para as micas, mais de 60% dos corpos são identificados com muscovíticos ou muscovíticos complexos. Os pegmatitos do Campo de Marilac são do tipo muscovítico da classe a muscovita, ou do tipo muscovíticos complexos da classe dos pegmatitos a elementos raros, quando classificados segundo o diagrama K/Rb x Cs de Cerný & Burt (1984) (Figura 57). Para a razão K/Rb x Ti os pontos caíram em áreas semelhantes àquelas ocupadas por pegmatitos dos tipos berilo-columbita e potássico de Lopes Nunes (1973). Desta forma os corpos analisados neste trabalho constituem um grupo de transição entre os indicados pelos autores anteriormente citados.

Figura 57 - Relação entre a razão K/Rb e a quantidade em Cs das micas das lavras do Campo de Marilac, comparada com pegmatitos de filiação orogênica. Cada símbolo corresponde um corpo amostrado. Modificado de Cerný & Burt (1984).

Ainda em relação as micas, as razões $K/Rb = 247,09 - 10,14$; $K/Cs = 8.799,6 - 46,5$; $Rb/Cs = 198,0 - 0,84$; $Rb/Sr = 1.260,0 - 9,29$ e $Li/Cs = 29,1 - 1,4$, representam pegmatitos de baixo a médio grau de diferenciação.

Segundo Cerný & Burt (1984), todas as tendências ilustradas nos diversos diagramas exibem continuidade no fracionamento dos elementos traço, desde muscovita, passando por muscovita litinífera até lepidolita. Analisando esta informação, vê-se que as estruturas destes minerais passam de dioctaédricos para trioctaédricos à medida que são incorporados os elementos alcalinos, principalmente o lítio, fato já demonstrado pelas análises de difratometria de raios X, e também nas de espectroscopia de absorção de infravermelho.

Wegner (1983) e Marciano (1985) não utilizaram os gráficos $K/Rb \times Li$ e $K/Rb \times Cs$ para análise dos dados químicos das lavras do Ipê, Olho-de-Gato, Cabeceira do Onça, Córrego Alto e Olho-de-Gato, Ferreirinha I, Farias (Jonas Lima I) e Boi, respectivamente.

Nesta Tese foram lançados tanto as análises obtidas pelo autor, como também as dos dois autores antes citados. Os pegmatitos do Campo de Marilac se enquadram na classe dos pegmatitos à elementos raros, do tipo muscovíticos complexos, semelhantes aos de Lopes Nunes (1973), tanto no diagrama $K/Rb \times Li$ (Figura 29, Capítulo 6) como no $K/Rb \times Cs$ (Figura 57).

Os pegmatitos do Campo de Marilac são classificados segundo sua assinatura geoquímica na classe dos pegmatitos a elementos raros, mostrando uma tendência do tipo muscovítico complexo ao tipo berilo-columbita, o que concorda com os dados obtidos para os feldspatos.

A turmalina, embora não sendo objeto de estudo desta Tese, foi apenas coletada e descrita quanto à sua cor, possuindo ocorrência semelhante a das micas. Nos 3 primeiros pegmatitos a SW da área, não foi encontrado turmalina, não havendo também descrições de registro na literatura. Nos demais corpos ocorrem turmalinas negras. Na porção NE e na área dos "Sem Terra" estão presentes turmalinas negras e coradas como também nas lavras Olho-de-Gato, Jonas Lima I, Jonas Lima II e Golconda I. Esta variação composicional reflete a diferenciação dos vários pegmatitos, ora mais simples ora mais complexos.

Quanto ao berilo, não foi encontrado o politipo octaédrico. Os politipos (n) e os de transição, perfazem $\approx 25\%$ das amostras. Os politipos (t) do tipo 2, pobres em álcalis raros, correspondem a $\approx 60\%$ e o (t) do tipo I, $\approx 15\%$, sendo encontrados nos pegmatitos do Escondido, Jonas Lima II e José Pereira ("Sem Terra"). As variedades de berilo mais abundantes são

industrial (escória), água-marinha e morganita muito clara, respectivamente em ordem de abundância. Essas variedades ocorrem na lavra do Escondido, juntamente com a goshenita, o que demonstra que o teor de ferro está baixando e o de manganês está aumentando.

A relação entre Li_2O e BeO salienta a substituição do Be por Li no sítio tetraédrico, bem como o fracionamento ocorrido durante a cristalização das diferentes zonas, fato exemplificado pelos 5 cristais de berilo do Pegmatito do Escondido. Neste corpo, os valores percentuais obtidos para Li_2O foram 0,03; 0,08; 0,16; 0,23 e 0,26 correspondendo, respectivamente, às seguintes percentagens de BeO : 11,3; 10,9; 10,3; 10,1 e 10,1.

A partir da relação entre Na/Li versus $\text{Cs}(\%)$ dos cristais de berilo, lançados no diagrama de Trueman & Cerný (1982), pôde-se observar que há, predominantemente, uma transição entre dois tipos principais de pegmatitos no Campo de Marillac. O mais abundante é do tipo **A**, estéril, portador de Be, Nb, Ta e pobre em álcalis raros; o outro do tipo **B**, mostra enriquecimento nestes últimos elementos (Figura 58). A amostragem cuidadosa segundo as zonas do pegmatito levam a uma interpretação mais confiável. O desejável é que as amostras de berilo de todos os pegmatitos sejam de uma mesma zona. Na análise do comportamento das 5 amostras estudadas do Pegmatito do Escondido, verifica-se que as amostras caem em diferentes áreas (**A**, **B**, **C** e **D**) do referido diagrama. Porém, ao relacionar este dado com a abundância de berilo azulado e a raridade da ocorrência de morganita e goshenita, pode-se classificar, com segurança, o pegmatito como do tipo **B**. A Figura 59 ilustra uma situação semelhante de outros cristais de berilo pertencentes a Província Pegmatítica Orienta.

Os berilos se enquadram no tipo 3 segundo a classificação de Hawthorne & Cerný (1977), ou seja, tipo berilo-Na com predomínio de sódio (0,2 a 1,1%), ocorrendo em pegmatitos ricos em albita mas muito pobres em álcalis raros. Poucos são do tipo 4, sendo classificados como berilo sódio-litinífero que ocorrem em pegmatitos litiníferos e com teores de Na entre 0,07 e 0,25%, Li de 0,01 a 0,3% e $\text{Cs} < 0,5\%$. Dentre os elementos cromóforos, o Fe_2O_3 varia de 0,02 na morganita do Jonas Lima II à 1,51 na água-marinha do Jonas Lima I e o MnO varia de 0,004 do Ferreirinha II à 0,013 no Olho-de-Gato, sendo que nos dois últimos as amostras exibem cor azulada.

A razão $\text{Li} \times \text{Cs}$ exibe uma tendência de crescimento, que relacionada à posição geográfica dos corpos, mostra um aumento de sudoeste para nordeste da área de ocorrência. Esta tendência pode ser indicativa da direção do fracionamento do fluido.

Figura 58 - Relação Na/Li versus Cs(%) baseado do diagrama de Trueman & Cerný (1982), onde estão representados 49 cristais de berilo do Campo de Marillac, inserido na Província Pegmatítica Oriental.

Figura 59 - Relação Na/Li versus Cs(%) baseado do diagrama de Trueman & Cerný (1982), no qual estão representados vários cristais de berilo da Província Pegmatítica Oriental.

A maioria dos diagramas de infravermelho mostrou água do tipo I predominando sobre a do tipo II, ocorrendo ainda CO_2 e raramente CH_4 . O N_2 foi detectado por espectroscopia micro-Raman como um dos componente da fase gasosa presente nas inclusões fluidas dos berilos.

Estudos por microscopia de amostras de berilo do pegmatito do Ipê, das zonas gráfica e intermediária e de um corpo de substituição desse pegmatito, revelaram a presença de um grande número de inclusões fluidas. Pelo estudo microtermométrico, os dados das temperaturas eutéicas das amostras das zonas gráfica, intermediária e do corpo de substituição sugerem uma evolução dos fluidos a partir de sistemas inicialmente compostos por Na^+ , K^+ , com possíveis quantidades de Fe^{2+} e de Fe^{3+} , para soluções mais ricas em cálcio

Finalmente, quanto à cor dos nióbio-tantalatos, a maioria é negra; na porção NE ocorrem amostras avermelhadas sugerindo um maior teor em tântalo. A densidade destes nióbio-tantalatos varia entre 5,69 e 7,82, sendo que 4,16% das amostras correspondem à composição de ferrocolumbita, 54,17% de tântalo-columbita, 25% de columbo-tantalita no alto topográfico na região do Olho-de-Gato, Jonas Lima I e Jonas Lima II, e 16,67% de tantalita na porção NE da área.

O teor de tântalo aumenta da mesma maneira que a complexidade mineralógica, porém não de uma maneira linear. Nesta região se destacam duas populações de pegmatitos, eqüidistantes 8,5km uma da outra, onde em uma ocorre, preferencialmente, ferrocolumbitas e na outra tantalitas.

Além das reflexões de alguns planos cristalográficos correspondentes à manganocolumbita, os dados de difração de raios X mostraram que a maioria das amostras são ferrocolumbitas ordenadas com graus diferentes de ordenação. Manganotantalitas são raras. As amostras apresentam zoneamento composicional detectado por meio da difração de raios X e confirmado pelas análises de seções polidas em microscopia eletrônica de varredura. Nióbio-tantalatos da Lavra Olho-de-Gato exibem inclusões de cassiterita e ixiolita, ambas identificadas por difração de raios X. Os Pegmatitos do Ferreirinha I e do Olho-de-Gato mostraram razões $\text{Ta}/(\text{Ta}+\text{Nb})$ e $\text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})$, respectivamente, dentro dos intervalos 0,20 a 0,70 e 0,18 a 0,26.

Os valores de c/a_0 dos parâmetros de cela unitária das 29 amostras lançados no diagrama de Cerný *et al.* (1986), permitiram classificá-las, em sua maior parte, como ferrocolumbitas ordenadas, sugerindo proximidade com algum possível corpo granítico.

Sob o aspecto geoquímico, as diversas razões geoquímicas dos minerais estudados mostram uma evolução de SW para NE na área.

11 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

De posse dos dados obtidos por meio dos diversos métodos físicos e químicos nas diferentes fases mineralógicas estudadas nesta Tese (Tabela 41), foram extraídos algumas conclusões quanto a evolução geoquímica do Campo Pegmatítico de Marilac, da potencialidade econômica de alguns bens minerais, as quais permitiram adotar um modelo genético para este campo. Também faz parte dessa considerações estudo do granito Açucena com 29 análises de biotita, 16 de plagioclásio e 10 de feldspato potássico.

Tabela 41 - Relação de minerais estudados de alguns pegmatitos da área. O Pegmatito Farias corresponde atualmente ao Jonas Lima I. 1 - Wegner (1983), 2 - Marciano (1985), 3 - Achtschin et al. (1996), 4 - Correia Neves et al. (1984) e 5 - Achtschin & Marciano (1996).

pegmatitos	albita	feldspato potássico	muscovita	biotita	Nb - Ta	berilo
Córrego Alto ¹	3	18	5	—	—	—
Cabeceira do Onça ¹	2	1	—	—	—	—
Ipê ¹	6	22	6	2	—	—
Olho-de-Gato ¹	6	8	6	2	2	2
Olho-de-Gato ²	11	22	6	—	3	2
Ferreirinha I ²	3	16	7	—	—	2
Farias ²	1	2	3	—	—	—
Boi ²	—	2	2	—	—	—
Ipê ³	3	—	1	2	—	2
Farias ⁴	—	—	—	—	—	1
Ipê ⁵	—	—	—	—	—	1
Golconda I ⁵	—	—	—	—	—	1
José Pedra ⁵	—	—	—	—	—	1
este trabalho	37	32	47	6	21	49
TOTAL	72	123	83	12	26	61

Quanto aos feldspatos:

- ❖ os feldspatos são microclínio pertítico e albita;
- ❖ os corpos pegmatíticos apresentam-se pouco diferenciados na porção SW da área e mais diferenciados na porção NE;
- ❖ as razões K/Rb, Ba/Sr, Rb/Sr e K/Ba são semelhantes aos feldspatos de pegmatitos potássicos na classificação de Lopes Nunes (1973), relativos aos corpos africanos de Moçambique;
- ❖ utilizando o gráfico K/Rb versus Cs de Morteau & Gaupp (1989), pode-se classificar os corpos pegmatíticos do Campo de Marilac como elementos raros, não mineralizados em tântalo;
- ❖ quanto à utilização na indústria pode-se afirmar que:
 - os feldspatos não piroexpansíveis podem ser empregados em cerâmica branca correspondendo a matéria-prima de 1ª e 2ª qualidade (Ferreira 1995, *in* Silva *et al.* 1996);
 - os feldspatos piroexpansíveis em menor grau, podem ser utilizados na indústria de vidros de um modo geral;
 - os testes de queima até 1.200°C exibiram cor branca para os cones de prova;
 - os feldspatos piroexpansíveis por excelência, talvez possam ser empregados na fabricação de agregados leves. Serão necessárias outras análises técnicas.

Quanto as micas:

- ❖ as razões $K/Rb = 247,9 - 13,5$; $K/Cs = 8.135,5 - 46,5$; $Rb/Cs = 78,0 - 0,8$; $Rb/Sr = 1.260,0 - 9,3$ e $Li/Cs = 29,1 - 1,4$ apresentam valores que representam pegmatitos de baixo a médio grau de diferenciação, como os descritos por Wegner (1983) e Marciano (1985);
- ❖ utilizando as relações $K/Rb \times Ba$ e $K/Rb \times Ga$, 60% dos corpos foram classificados como do tipo berilo-columbita, ocorrendo ainda alguns da classe muscovita e outros do tipo lepidolita;
- ❖ as razões $K/Rb \times Cs$ e $K/Rb \times Li$, indicam que mais de 60% dos corpos são identificados com muscovíticos ou muscovíticos complexos das classes a muscovita e a elementos raros, respectivamente. A utilização desses diagramas vieram ratificar

a classificação dos pegmatitos, segundo trabalho de Marciano (1985), Correia Neves *et al.* (1986) e Gandini *et al.* (1998);

- ❖ para a razão K/Rb x Ti os pontos caíram em áreas semelhantes àquelas ocupadas por pegmatitos dos tipos berilo-columbita e potássico de Lopes Nunes (1973);
- ❖ os corpos analisados, neste trabalho, constituem um grupo de transição entre os indicados pelos autores anteriormente citados.

Quanto ao berilo:

- ❖ a razão c_o/a_o enquadra os cristais de berilo estudados em três tipos distintos de acordo com Bakakin *et al.* (1970): tipo III (n - normal), a minoria, sem substituições catiônicas e os tipos II, a maioria, e tipo I (ambos t - tetraédrico) com substituição parcial do berílio por lítio e/ou silício. Podem conter elementos alcalinos em canais, concordando com a maioria dos diagramas de infravermelho que apresentam H₂O-I dominante sobre H₂O-II, bem como os dados ópticos e os valores de peso específico;
- ❖ a relação Na/Li x Cs do diagrama de Trueman & Cerný (1982), permite caracterizar dois grupos de pegmatitos: um mais abundante do tipo estéril, portador de Be, Nb, Ta e pobre em álcalis raros, e o outro, com Be, Nb e Ta, sendo enriquecido em álcalis raros;
- ❖ segundo a classificação de Hawthorne & Cerný (1977), os berilos se enquadram no tipo 3, ou seja, berilo-Na, com predomínio do sódio (0,2 a 1,1%), e ocorrendo em pegmatitos ricos em albita mas muito pobres em álcalis raros. Poucos são do tipo 4, sendo classificados como berilo sódio-litínifero, ocorrendo em pegmatitos litíniferos, com teores de Na entre 0,07 e 0,25%, Li de 0,01 a 0,3% e Cs <0,5%;
- ❖ dentre os elementos cromóforos, o Fe₂O₃ varia de 0,02 na morganita do Jonas Lima II à 1,51 na água-marinha do Jonas Lima I; o MnO varia de 0,004 no Ferreirinha II à 0,013 no Olho-de-Gato, sendo que nos dois últimos as amostras são azuladas;
- ❖ para o berilo do Ipê, a microtermometria revelou tratar-se, na maioria das vezes, de inclusões bifásicas, compostas essencialmente por soluções aquosas de baixa salinidade. Outros métodos de análise mostraram a existência de pequenas quantidades de CO₂ e raramente CH₄ (espectroscopia de absorção no infravermelho), ocorrendo o CO₂ em maior quantidade na amostra proveniente do corpo de substituição, com CO₂ e N₂ apenas em inclusões dos berilos da zona gráfica;

- ❖ os dados das temperaturas eutéticas das amostras das zonas gráfica, intermediária e do corpo de substituição sugerem uma evolução dos fluidos a partir de sistemas inicialmente compostos por Na^+ , K^+ , com possíveis quantidades de Fe^{2+} e Fe^{3+} , para soluções mais ricas em cálcio. O aporte dessas soluções posteriores teria modificado, em proporções variáveis, as inclusões originais, principalmente aquelas com dimensões maiores e dispostas paralelamente ao eixo c do berilo, nas quais haveria maior facilidade de escape e troca de fluidos.

Quanto aos nióbio-tantalatos:

- ❖ a densidade relativa varia entre 5,69 e 7,82, sendo que mais de 60% das amostras correspondem à composição da ferrocolumbita e de tântalo-columbita;
- ❖ valores de c/a_0 dos parâmetros de cela unitária das 29 amostras lançados no diagrama de Cerný *et al.* (1986), permitiram classificá-las, em sua maior parte, como ferrocolumbitas ordenadas com graus diferentes de ordenação, sem contudo obedecer uma direção definida na área. Também foram identificadas inclusões de cassiterita e ixiolita nesses nióbio-tantalatos;
- ❖ razões $\text{Ta}/(\text{Ta}+\text{Nb})$ e $\text{Mn}/(\text{Mn}+\text{Fe})$ mostraram, respectivamente, valores nos intervalos 0,20 a 0,70 e 0,18 a 0,26;
- ❖ a maioria das amostras apresenta valores maiores de Nb do que Ta ($\text{Nb} \geq \text{Ta}$), indicando que os pegmatitos pertencem à classe muscovítica, ou à classe elementos raros, subclasse muscovítica;
- ❖ num mesmo corpo há nióbio-tantalatos com valores crescentes de Ta, abrangendo uma faixa ampla;
- ❖ o teor de tântalo aumenta da mesma maneira que a complexidade mineralógica da área numa direção de SW para NE, porém não de uma maneira linear. Nesta região se destacam duas populações de pegmatitos, eqüidistantes 8,5km uma da outra, onde em uma ocorre, preferencialmente, ferrocolumbita e na outra tantalita;
- ❖ a interpretação dos dados, em relação à evolução do corpo, é dificultada, pois não se têm dados sobre a localização das amostras no pegmatito;
- ❖ os dados analíticos sugerem que a gênese destes pegmatitos pode estar ligada a fracionamento ígneo a partir de uma fonte ígnea localizada a SW da área.

Comentários adicionais:

- ❖ o enquadramento dos pegmatitos do Campo de Marilac na classe pegmatítica à elementos raros, implica em que estes corpos correspondam a resíduos derivados de granitos orogenéticos, por fracionamento ígneo;
- ❖ o Granito Açucena que poderia estar relacionado aos corpos não pode ser correlacionado devido ao número insuficientes de dados. Entretanto pode-se estabelecer algumas possibilidades baseadas nos dados dos pegmatitos:
 - os locais de ocorrências dos pegmatitos mais diferentes na área estão em pontos que não apresentam relação com as cotas de altitude, como sugerido por Santos (1983);
 - há dois granitos aflorantes, o Açucena e o Baixa do Bugre. Entretanto, se for considerado o modelo de zoneamento de Varlamoff (1972), nenhum dos dois pode ser considerado o parental dos pegmatitos.
 - o modelo apresentado por Cerný (1989) (Figura 60) parece satisfazer as condições geoquímicas encontradas na área, onde se tem pegmatitos complexos em cotas mais baixas que alguns mais simples situados em níveis mais elevado.

Como sugestão para trabalhos futuros, seria interessante uma análise dos granitos Açucena e Baixa do Bugre, em maior detalhe; análise geológico/estrutural da área do campo pegmatítico e se possível, uma análise geofísica da área.

Figura 60 - Seção vertical esquemática através de um sistema zonado granito fértil / pegmatito. 1 - granito fértil; 2 - "barren" com pegmatitos contendo beril; 3 - tipo berilo, pegmatitos com columbita - fosfatos; 4 - pegmatitos do tipo complexo, com espodumênio ou petalita, com mineralização de estanho, tântalo e localmente cézio; 5 - falhas. Os horizontes A, B, C e D representam níveis de erosão, podendo observar no nível B, a exposição de 3 tipos de pegmatitos concêntricos, mas assimétricos.

12 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACHTSCHIN, A.B.; COSTA, K. de V.; REIS, L.B. (1996) *Controle litoestrutural do Pegmatito Ipê*. Belo Horizonte, 90p. (Trabalho de Graduação) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- ACHTSCHIN, A.B.; MARCIANO, V.R.P.R.O. (1996) *Utilização do berilo na caracterização genética de corpos pegmatíticos da faixa Sabinópolis - Governador Valadares, MG*. Belo Horizonte, p. 201. (V Semana de Iniciação Científica - Pró-Reitoria de Pesquisa) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- ADUSUMILLI, M.S. (1976) *Contribuição à mineralogia dos niobo-tantalatos da Província Pegmatítica Nordestina*. Belo Horizonte, 254p. (Tese Livre - Docencia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- ADUSUMILLI, M.S. (1978) Niobo-tantalatos no nordeste do Brasil: a série columbita-tantalita. *Jornal de Mineralogia (Volume Djalma Guimarães)*, v. 7, p. 195-225.
- AHRENS, L.H.; PINSON, W.H.; KEARNS, M.M. (1952) Association of rubidium and potassium and their abundance in common igneous rocks and meteorits. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 2, n. 4, p. 229-242.
- AINES, R.D.; ROSSMAN, G.R. (1984) The high temperature behavior of water and carbon dioxide in cordierite and beryl. *American Mineralogist*, v. 69, p. 319-327.
- ALMEIDA, F.F.M. de (1977) O Cráton do São Francisco. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 7, n. 4, p. 349-364.
- ALMEIDA, F.F.M. de; HASUI, Y.; BRITO NEVES, B.B. de (1976) The upper Precambrian of South America. *Boletim. IG-USP*, v. 7, p.45-80.
- ANDERSSON, L.O. (1979) The difference between Maxixe beryl and Maxixe-type beryl: na electron paramagnetic resonance investigation. *Journal of Gemmology*, v. 16, n. 5, p. 313-317.
- AURISICCHIO, C.; GRUBESSI, O.; ZECCHINI, P. (1994) Infrared spectroscopy and crystal chemistry of the beryl group. *Canadian Mineralogist*, v. 32, n. 1, p. 55-68.
- AZÁROFF, L.V.; BURERGER, M.J. (1958) *The powder method in X-ray crystallography*. New York, McGraw-Hill. 342p.

- BAILEY, S.W. (1984) Classification and structures of the micas. *In*: BAILEY, S.W. (ed.) (1984) *Reviews in Mineralogy*, v. 13, p. 1-12.
- BAKAKIN, V.V.; BELOV, N.V. (1962) Crystal chemistry of beryl. *Geochemistry*, v. 5, p. 484-500.
- BAKAKIN, V.V.; RYLOV, G.M.; BELOV, N.V. (1970) X-ray diffraction data for identification of beryl isomorphs. *Geochemistry International*, v. 7, n. 6, p. 924-933.
- BANKO, A.G. (1997) *FTIR-spektroskopische untersuchungen na beryllen unterschiedlicher herkunft, sowie die geologische, mineralogische und gemmologische charakterisierung der diamanten des Espinhaço-Gebirges (Minas Gerais, Brasilien)*. Wien, 185p. (Tese - Doutorado) Institut für Mineralogie und Kristallographie, Universität Wien.
- BARBOSA, A.L. de M. (1944) Mica em Governador Valadares. *Mineração e Metalurgia*, v. 8, n. 43, p. 29-34.
- BARBOSA, A.L.M.; GROSSI SAD, J.H.; TORRES, N.; MELO, M.T.V. (1964) Geologia das quadrículas de Barra de Cuité e Conselheiro Pena, Minas Gerais. Belo Horizonte, Relatório DNPM/GEOSOL. 285p.
- BARBOSA, A.L.M.; GROSSI SAD, J.H.; TORRES, N.; MELO, M.T.V. (1966) Description of the preliminary geologic map of the Middle Rio Doce. *In*: INTERNATIONAL FIELD INSTITUTE, Washington, 1966. *Guidebook Brazil*. Washington, American Geological Institute. p. III.1 - III.7.
- BARBOSA, O. (1954) Evolution du geossinclinal Espinhaço *In*: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS, 18., Alger, 1952. Sect 13, 1954, p. 2 - 37.
- BARTH, T.F.W. (1969) *Feldspar*. New York, Wiley Interscience. 261p.
- BELLO, R.M. da S.; FUZIKAWA, K.; GANDINI, A.L.; DANTAS, M.S.S.; MANO, E.S.; SVISERO, D.P.; CÉSAR-MENDES, J. (1996) Caracterização e composição química das inclusões fluidas em berilos da Vila de Água-Marinha, município de Teixeira de Freitas, Bahia. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 39.; SIMPÓSIO DE INCLUSÕES FLUIDAS, 2., Salvador, 1996. *Anais*. Salvador, SBG, Núcleo Bahia-Sergipe. v. 7, p. 490-492.
- BELLO, R.M. da S.; FUZIKAWA, K.; GANDINI, A.L.; DANTAS, M.S.S.; MANO, E.S.; SVISERO, D.P.; CÉSAR-MENDES, J. (1997) Caracterização e composição química das inclusões fluidas em água-marinha e heliodoro de Vila de Água-Marinha, município de Teixeira de Freitas, Bahia. *REM. Revista Escola de Minas*, v. 50, n. 2, p. 33-39.
- BELLO, R.M. da S.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; GANDINI, A.L.; FUZIKAWA, K.; DANTAS, M.S.S.; SOUZA, L.A.; SVISERO, D.P. (1999) Caracterização mineralógica e composição química das inclusões fluidas de berilo do Pegmatito Ipê, município de Governador Valadares, Minas Gerais. (em preparação).
- BETEKHTIN, A.G. (s.d.) *A course of mineralogy*. Moscow, Peace Publishers. 642p.
- BEUGNIES, A.; MOZAFARI, Ch. (1968) Contribution a l'étude des propriétés des columbotantalites et des tapiolites. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, v. 91, n. 1, p. 35-84.

- BEUS, A.A. (1966) *Geochemistry of beryllium and genetic types of beryllium deposits*. San Francisco, W. H. Freeman. 401p.
- BIONDI, J.C. (1986) *Depósitos de minerais metálicos de filiação magmática*. São Paulo, T.A. Queirós. 602p.
- BORISENKO, A.S. (1978) Study of the salt composition of solutions of gas-liquid inclusions in minerals by the cryometric method. *Geologiya i Geofizika*, v. 18, n. 8, p. 11-19.
- BRANCO, P. de M. (1982) *Dicionário de mineralogia*. 2. ed. Porto Alegre, SAGRA. 362p.
- BRANCO, P. de M. (1984b) *Glossário gemológico*. Porto Alegre, Editora da Universidade. 203p.
- BRANCO, P.C. de A. (1984a) Principais depósitos minerais: conceitos, metodologia e listagem. In: SHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.A.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (coords.) *Geologia do Brasil - texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais*. Escala 1:250.000. Brasília, Ministério das Minas e Energia/DNPM, p. 259-419.
- BRANDALISE, L.A. (1991) *Projeto Barbacena, Folha Ponte Nova SF.23-X-B-II, Estado de Minas Gerais*. Relatório Final. Brasília. DNPM/CPRM.
- BRISBIN, W.C. (1986) Mechanics of pegmatites intrusion. *American Mineralogist*, v. 71, n. 3/4, p. 644-651.
- BROWN, G. (1993) Maxixe-type beryls: ghosts from the past. *Australian Gemmologist*, v. 18, n. 7, p. 215-221.
- BURT, D.M. (1982) Minerals of beryllium. In CERNÝ, P. (ed.) *Granitic pegmatites in science and industry*. Winnipeg, Mineralogical Association of Canada. p. 135-148. (Short course handbook, v. 8).
- CAMERON, E.N.; JAHNS, R.H.; McNAIR, A.H.; PAGE, L.R. (1949) *Internal structure of granitic pegmatites*. Lancaster, Economic Geology Publishing. 115p. (Economic Geology, Monograph 2).
- CAMPOS NETO, M. da C.; PERROTTA, M.M.; PELOGGIA, A.U.G.; FIGUEIREDO, M.C.H. de (1990) A porção ocidental da Faixa Alto Rio Grande (SP-MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36., Natal, 1990. *Anais*. Natal, SBG - Núcleo Nordeste, v. 6, p. 2615-2630.
- CARVALHO, J.B.; PEREIRA, L.M.M. (1997a) Caracterização petrológica das rochas graníticas e charnockíticas da porção leste do Estado de Minas Gerais, baseada em dados petrográficos. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 9., Ouro Preto, 1997. *Anais*. Ouro Preto, SBG - Núcleo Minas Gerais, v. 14, p. 98-100.
- CASTAÑEDA, C. (1997) Caracterização mineralógica das turmalinas do Distrito Pegmatítico de Araçuaí, MG. Ouro Preto, 149p. (Dissertação - Mestrado) - Departamento de Geologia, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto.
- CERNÝ, P. (1975a) Granitic pegmatites and their minerals: selected examples of recent progress. *Fortschritte der Mineralogie*, v. 52, p. 225-250.

- CERNÝ, P. (1975b) Alkali variations in pegmatitic beryl and their petrogenetic implications. *Neues Jahrbuch für Mineralogie. Abhandlungen*, v. 123, n. 2, p. 198-212.
- CERNÝ, P. (1982a) Petrogenesis of granitic pegmatites. In CERNÝ, P. (ed.) *Granitic pegmatites in science and industry*. Winnipeg, Mineralogical Association of Canada. p. 405-461. (Short course handbook, v. 8).
- CERNÝ, P. (1982b) Anatomy and classification of granitic pegmatites. In: CERNÝ, P. (ed.) *Granitic pegmatites in science and industry*. Winnipeg, Mineralogical Association of Canada. p. 1-39. (Short course handbook, v. 8).
- CERNÝ, P. (1989b) Characteristics of pegmatite deposits of tantalum. In: MÖLLER, P.; CERNÝ, P.; SUAPÉ, F. (eds.) *Lanthanides, Tantalum and Niobium*. Berlin, Springer-Verlag, v. 7, p. 195-239.
- CERNÝ, P. (1990) Distribution, affiliation and derivation of rare-element granitic pegmatites in the Canadian Shield. *Geologische Rundschau*, v. 79, n. 2, p. 183-226.
- CERNÝ, P. (1991a) Rare-element granitic pegmatites. Part I: anatomy and internal evolution of pegmatites deposits. *Geoscience Canada*, v. 18, n. 2, p. 49-67.
- CERNÝ, P. (1991b) Rare-element granitic pegmatites. Part II: regional to global environments and petrogenesis. *Geoscience Canada*, v. 18, n. 2, p. 68-81.
- CERNÝ, P.; BURT, D.M. (1984) Paragenesis, crystallochemical characteristics, and geochemical evolution of micas in granitic pegmatites. *Reviews in Mineralogy*, v. 13, p. 257-297.
- CERNÝ, P.; ERCIT, T.S. (1989) Mineralogy of niobium and tantalum: crystal chemical relationships, paragenetic aspects and their economic implications. In: MÖLLER, P.; CERNÝ, P.; SUAPÉ, F. (eds.) *Lanthanides, Tantalum and Niobium*. Berlin, Springer-Verlag. v. 7, p. 27-79.
- CERNÝ, P.; GOAD, B.E.; HAWTHORNE, F.C.; CHAPMAN, R. (1986) Fractionation trends of the Nb- and Ta- bearing oxide minerals in the Greer Lake pegmatites granite and its pegmatites aureole, Southeastern Manitoba. *American Mineralogist*, v. 71, n. 3/4, p. 501-517.
- CERNÝ, P.; HAWTHORNE, F.C. (1976) Refractive indexes versus alkali contents in beryl: general limitations and applications to some pegmatitic types. *Canadian Mineralogist*, v. 14, n. 4, p. 491-497.
- CERNÝ, P.; SIMPSON, F.M. (1977) The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. IX. Beryl. *Canadian Mineralogist*, v. 15, n. 4, p. 489-499.
- CÉSAR-MENDES, J. (1989) *Aspectos mineralógicos, geológicos e econômicos da esmeralda de Santa Terezinha de Goiás*. São Paulo, 163p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- CÉSAR-MENDES, J. (1995) *Mineralogia e gênese dos pegmatitos turmalíníferos do Cruzeiro, São José da Safira, Estado de Minas Gerais*. São Paulo, 260p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.

- CÉSAR-MENDES, J.; BELLO, R.M. da S.; SOUZA, M.M.; GANDINI, A.L.; FUZIKAWA, K.; SVISERO, D.P. (1994) Dados mineralógicos e microtermométricos preliminares dos berilos gemológicos da Vila de Água-Marinha, Município de Teixeira de Freitas, Bahia. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 37., 1992, São Paulo. **Boletim de Resumos Expandidos**. São Paulo, SBG, v. 2, p. 113-114.
- CÉSAR-MENDES, J.; GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; SVISERO, D.P. (1997) Berilos da Província Pegmatítica Oriental: um indicador metalogenético. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS*, 9., Ouro Preto, 1997. **Anais**. Ouro Preto, SBG - Núcleo Minas Gerais, v. 14, p. 127-129.
- CÉSAR-MENDES, J.; GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; SVISERO, D.P. (1998) Correlações genéticas entre berilos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. **REM. Revista Escola de Minas**, v. 51, n. 1, p. 34-39.
- CHEMALE JR., F. (1987) Gênese das rochas graníticas do tipo Borrachudos. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA*, 1., Porto Alegre, 1987. **Anais**. Porto Alegre, p. 171-186.
- CHODUR, N.L. (1997) *Mineralogia e geologia dos depósitos de rubi e safira da região de Barra Velha, Santa Catarina*. São Paulo, 210p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- COLLINS, P.L.F. (1979) Gas hydrates in CO₂-bearing fluids and the use freezing data for estimation of salinity. *Economic Geology*, v. 74, n. 6, p. 1435-1444.
- CORREIA NEVES, J.M. (1981) *Pegmatitos Graníticos: morfologia, mineralogia, geoquímica, gênese e metalogênese*. Belo Horizonte, 1v. (Tese - Titular) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- CORREIA NEVES, J.M.; MONTEIRO, R.L.B.B.; DUTRA, C.V. (1984) Composição química de berilos pegmatíticos do Brasil e seu significado petrológico e metalogenético. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 14, n. 3, p. 137-146.
- CORREIA NEVES, J.M.; PEDROSA SOARES, A.C.; MARCIANO, V.R.P.R.O. (1986) A Província Pegmatítica Oriental do Brasil à luz dos conhecimentos atuais. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, n. 1, p. 106-118.
- COSTACURTA, J.J. (1974) Perfil analítico do feldspato. **Boletim DNPM**, n. 32, p. 1-45.
- CROWSON, P. (1994) *Minerals Handbook 1994-95, statistics and analyses of the world's minerals industry*. USA, Stockton Press. 328pp.
- CUNNINGHAM, W.D.; MARSHAK, S.; ALKMIM, F.F. (1996) Structural style of basin inversion at mid-crustal levels: two transects in the internal zone of the Brasiliano Araçuaí Belt, Minas Gerais, Brazil. **Precambrian Research**, v. 77, n. 1/2, p. 1-15.
- DANA, J.D.; HURLBUT JR., C.S. (1976) Silicatos. *In: _____. Manual de mineralogia*. 3. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. v. 2, p. 423-564.
- DAR, K.K.; PHADKE, A.V. (1964) On the occurrence of beryl and other minerals in pegmatites in India. *In: INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS*, 22., New Delhi, 1964. **Proceedings**. New Delhi, v. 6, p. 213-224.

- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1981) *Minerais constituintes das rochas - uma introdução*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian. 559p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1986) *Rock-forming minerals. Disilicates and ring silicates*. London, Longman Scientific & Technical. 696p.
- DEER, W.A.; HOWIE, R.A.; ZUSSMAN, J. (1992) *An introduction to the Rock-forming minerals*. 2. ed. Hong Kong, Longman Scientific & Technical. 696p.
- DELANEY, P.J.V. (1996) *Gemstone of Brazil - geology and occurrences*. Ouro Preto, Editora REM. 125p.
- DORR II, J.V.N.; BARBOSA, A.L.M. (1963) Geology and ore deposits of the Itabira District, Minas Gerais, Brazil. *U. S. Geological Survey Professional Paper, 341 C*: 1-110.
- DOSSIN, I.A.; DOSSIN, T.M.; CHARVET, J.; COCHERIE, A.; ROSSI, P. (1993) Single-zircon dating by step-wise Pb-evaporation of Middle Proterozoic magmatism in the Espinhaço Range, southeastern São Francisco Craton (Minas Gerais, Brazil). In: SIMPÓSIO SOBRE O CRATON DO SÃO FRANCISCO, 2., Salvador, 1993. *Anais*. Salvador, SBG - Núcleo Bahia-Sergipe. p. 39-42.
- DRUMOND, J.B.V. (1985) Ipatinga - Folha SE 23-Z-D, Região Sudeste. In: *Projeto mapas carta de previsão de recursos minerais; carta de previsão para planejamento de ações governamentais*. DNPM, 15p.
- DUSSIN, T.M. (1994) *Associations volcano-plutonique de l'Espinhaço Meridional (SE - Bresil). Un exemple d'évolution de la croûte protérozoïque*. Orleans, 177p. (Tese - Doutorado) - Université D'Orleans.
- ESCHWEGE, W.L. v. (1833) *Pluto Brasiliensis*. s.l. G. Reimer, 622p.
- ESTEP-BARNES, P.A. (1977) Infrared spectroscopy. In: ZUSSMAN, J. *Physical methods in determinative mineralogy*. 2. ed. London, Academic Press. p. 529-603.
- EWING, G.W. (1989) *Métodos instrumentais de análises química*. 5. ed. São Paulo, Edgard Blücher. v. 1, p. 296.
- FARMER, V.C. (1974) *The infrared spectra of minerals*. London, Mineralogical Society. 539p. (Mineralogical Society Monograph, 4).
- FASSEL, V.M.; WENDT, R.H. (1965) Induction coupled plasma spectrometric excitation source. *Analytical Chemistry*, v. 37, n. 7, p. 920 - 922.
- FEKLICHEV, V.G. (1963) Chemical composition of minerals of the beryl group, character of isomorphism, and position of principal isomorphous elements in the crystal structure. *Geochemistry*, v. 4, p. 410-421.
- FERNANDES, M.L.S.; MARCIANO, V.R.P.R.; OLIVEIRA, R.C.; CORREIA NEVES, J.M.; DILASCIO, M.V. (1994) Granitos borrachudos: um exemplo de granitogênese anorogênica na posição central do Estado de Minas Gerais. *Geonomos*, v. 2, n. 2, p. 23-29.
- FERREIRA, L.C.M.G. (1995) *Projeto feldspato: relatório final*. Programa de minerais industriais da Bahia. Salvador, SGM.

- FERSMAN, A.E. (1951) *Les pegmatites, leur importance scientifique et pratique*. Belgica, Universidade de Louvain, 3 v., 675p.
- FLANIGEN, E.M.; BRECK, D.W.; MUMBACH, N.R.; TAYLOR, A.M. (1967) Characteristics of synthetic emeralds. *American Mineralogist*, v. 52, n. 5/6, p. 744-772.
- FONTES, C.Q.; FERRARI, P.G.; PEREIRA, A.D.C.; NETTO, C.; PEREIRA, F.S.; LIMA JR., L. de O.; COSTA, M.R.A.; BALTAZAR, O.F.; SILVA, S.L. da; VIEIRA, V.S.; RAMALHO, R. (1978). *Projeto Jequitinhonha: relatório final* - escala 1:250.000. DNPM/CPRM, Belo Horizonte. 12v.
- FOORD, E.E.; MILLS, B.A. (1978) Biaxiality in "isometric" and "dimetric" crystals. *American Mineralogist*, v. 63, n. 3/4, p. 316-325.
- FORMOSO, M.L.L. (1980) Difractometria de raios X. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. *Boletim*. Camboriú, SBG, Núcleo Santa Catarina, v. 4, p. 5-26.
- FUCK, R.A.; JARDIM de SÁ, E.F.; PIMENTAL, M.M.; DARDENNE, M.A.; PEDROSA SOARES, A.C. (1993) As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco: sínteses dos conhecimentos. In: DOMINGUEZ, J.M.L.; MISI, A. (eds). *O Cráton do São Francisco*. Salvador, SBG BA-SE/SGM/CNPq. p. 161-185.
- FUZIKAWA, K. (1985) Inclusões fluidas: métodos usuais de estudo e aplicações. In: COMPANHIA BRASILEIRA DE METALURGIA E MINERAÇÃO. *Contribuições a geologia e petrologia*. Belo Horizonte, SBG-MG/CBMM, p. 29-44.
- GADSDEN, J.A. (1975) *Infrared spectra of minerals and related inorganic compounds*. London, Butterworths. 288p.
- GANDINI, A.L. (1994) *Mineralogia, inclusões fluidas e aspectos genéticos do topázio imperial da região de Ouro Preto, Minas Gerais*. São Paulo, 212p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- GANDINI, A.L.; CÉSAR-MENDES, J. (1998) Berilos da borda leste da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE GEOLOGIA, 10., Buenos Aires, 1998. *Actas*. Buenos Aires, Argentina. V. 2, p. 205-210.
- GANDINI, A.L.; CÉSAR-MENDES, J.; BELLO, R.M.S.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; FUZIKAWA, K.; PIMENTA, M.A.; SVISERO, D.P. (1997a) Quimismo das inclusões fluidas de berilos da borda leste da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. In: SEMANA DE GEOQUÍMICA 10./ CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 4., Braga, 1997. *Actas*. Braga, Universidade do Minho, 183-186.
- GANDINI, A.L.; CÉSAR-MENDES, J.; SVISERO, D.P. (1997b) Dados mineralógicos de berilos de três pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental Brasileira. In: SEMANA DE GEOQUÍMICA, 10./ CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 4., Braga, 1997. *Actas*. Braga, Universidade do Minho, 187-190.
- GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; CÉSAR-MENDES, J.; SVISERO, D.P. (1998a) As columbitas-tantalitas como indicadora da zoneografia dos pegmatitos do Campo de Marilac (região de Governador Valadares - Minas Gerais). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

- GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte, 1998. *Boletim de Resumos*. Belo Horizonte, SBG., p. 267.
- GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; CORREIA NEVES, J.M.; SVISERO, D.P. (1998b) Utilização da muscovita para a classificação geoquímica dos corpos pegmatíticos do Campo de Marilac, Minas Gerais - Brasil. In: TERRA NOSTRA, GEOWISSENSCHAFTLICHES LATEINAMERIKA-KOLLOQUIUM, 16., Bayreuth, 1998. Actas. Bayreuth, Alemanha, p. 41-42.
- GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; SVISERO, D.P. (1998c) Quimismo e aplicação industrial de feldspatos do Campo Pegmatítico de Marilac, região de Governador Valadares, Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 40., Belo Horizonte, 1998. *Boletim de Resumos*. Belo Horizonte, SBG., p. 323.
- GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; CARVALHO, F.M.S.; SVISERO, D.P. (1998d) Geoquímica de berilos do Campo Pegmatíticos de Marilac, Governador Valadares, Minas Gerais - Brasil. In: TERRA NOSTRA, GEOWISSENSCHAFTLICHES LATEINAMERIKA-KOLLOQUIUM, 16., Bayreuth, 1998. *Actas*. Bayreuth, Alemanha, p. 40-41.
- GANDINI, A.L.; MARCIANO, V.R.P.R.O.; SOUZA, L.A.; SVISERO, D.P. (1999) Aspectos geoquímicos e genéticos dos pegmatitos do Campo de Marilac, Governador Valadares (MG), através do estudo dos feldspatos. In: SIMPÓSIO DO SUDESTE, 7., São Pedro, 1999. *Boletim de Resumos*. São Pedro, SBG., (no prelo).
- GARIBALDI, E. (1994) *Ocorrências gemológicas no Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte, Real, 116p.
- GARIBALDI, E. (1995) Turmalinas - as boas surpresas dos pegmatitos de MG. *Brasil Mineral*, v. 129, p. 39-44.
- GOLDMAN, D.S.; ROSSMAN, G.R.; PARKIN, K.M. (1978) Channel constituents in beryl. *Physics and Chemistry of Minerals*, v. 3, p. 225-235.
- GOLDSTEIN, R.H.; REYNOLDS, T.J. (1994) *Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals*. Tulsa, Society for Sedimentary Geology. 199p. (SEPM - Short course 31)
- GOMES, C.B. (1980) Microsonda eletrônica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., Camboriú, 1980. *Boletim*. Camboriú, SBG, Núcleo Santa Catarina, v. 4, p. 89-111.
- GOMES, C.B. (coord.) (1984) *Técnicas analíticas instrumentais aplicadas à geologia*. São Paulo, Edgard Blücher. 218p.
- GOMES, C.B.; GIRARDI, V.A.V. (1973) Princípios e aplicações de microsonda eletrônica. *Ciência e Cultura*, v. 25, n. 8, p. 711-722.
- GREENFIELD, S.; JONES, I.L.; BERRY, C.T. (1964) High-pressure plasmas as spectroscopic emission source. *Analyst*, v. 89, p. 713 - 720.
- GROSSI SAD, J.H. (1993) *Projeto Espinhaço; geologia da Folha Guanhães, Minas Gerais. Escala 1:100.000*. Belo Horizonte, SEME/COMIG/UFMG. 117p.

- GROSSI SAD, J.H.; CHIODI FILHO, C.; SANTOS, J.F.; MAGALHÃES, J.M.M.; CARELOS, P.M. (1990) Duas suítes graníticas da borda sudeste do Cráton San Franciscano, em Minas Gerais: petroquímica e potencial metalogenético. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 36., Natal, 1990. *Anais*. Natal, SBG - Núcleo Nordeste, v. 4, p. 1836-1848.
- GROSSI SAD, J.H.; MAGALHÃES, J.M.M.; CARELOS, P.M. (1989) *Geologia do Distrito de Guanhães, Minas Gerais*. Relatório interno para DOCEGEO. Belo Horizonte. GEOSOL. 253p.
- HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y. (1982) The gravimetric information and the Archean-Proterozoic structural framework of eastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 12, n. 1/3, p. 160-166.
- HARALYI, N.L.E.; HASUI, Y.; MIOTO, J.A.; HAMZA, V.M.; RODRIGUES, C.R.V. (1985) Ensaio sobre a estruturação crustal do Estado de Minas Gerais com base na informação geofísica e geológica. *In: COMPANHIA BRASILEIRA DE METALURGIA E MINERAÇÃO. Contribuições à geologia e petrologia*. Belo Horizonte, SBG-MG/CBMM, p. 71-93.
- HASUI, Y.; CARNEIRO, C.D.; COIMBRA, A.M. (1975) The Ribeira Folded Belt. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 5, n. 4, p. 257-266.
- HAWTHORNE, F.C.; CERNÝ, P. (1977) The alkali-metal positions in Cs-Li beryl. *Canadian Mineralogist*, v. 15, n. 3, p. 414-421.
- HAWTHORNE, F.C.; CERNÝ, P. (1982) The mica group. *In: CERNÝ, P. (ed.) Granitic pegmatites in science and industry*. Winnipeg, Mineralogical Association of Canada. p. 63-98. (Short course handbook, v. 8).
- HEIER, K.S.; TAYLOR, S.R. (1959a) Distribution of Ca, Sr and Ba in southern Norwegian pre-Cambrian alkali feldspars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 17, p. 286-304.
- HEIER, K.S.; TAYLOR, S.R. (1959b) Distribution of Li, Na, K, Rb, Cs, Pb and Tl in southern Norwegian pre-Cambrian alkali feldspars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 15, p. 284-304.
- HOLLISTER, L.S. (1981a) Information intrinsically available from fluid inclusion. *In: HOLLISTER, L.S.; CRAWFORD, M.L. (eds.) Fluid inclusions: application to petrology*. Calgary, Mineralogical Association of Canada. p. 1-12. (Short course handbook, v. 6).
- HOLLISTER, L.S. (1981b) Techniques for analyzing fluid inclusion. *In: HOLLISTER, L.S.; CRAWFORD, M.L. (eds.) Fluid inclusions: application to petrology*. Calgary, Mineralogical Association of Canada. p. 272-277. (Short course handbook, v. 6).
- HOLLISTER, L.S.; CRAWFORD, M.L. (1981) *Fluid inclusions: application to petrology*. Calgary, Mineralogical Association of Canada. 304p. (Short course handbook, v.6).
- HOLSER, W. (1953) Beryllium minerals in the Victorio Mountains, Luna County, New Mexico. *American Mineralogist*, v. 38, n. 7/8, p. 599-611.
- ISSA FILHO, A.; MOURA, O.J.M. de; FANTON, J.J. (1980) Reconhecimento de pegmatitos da Província Oriental Brasileira entre Aimorés e Itambacuri - MG. *In: CONGRESSO*

- BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 31., 1980, Balneário de Camboriú. *Anais*. Balneário de Camboriú, SBG - Núcleo Santa Catarina, v. 3, p. 1552-1563.
- JAHNS, R.H. (1955) The study of pegmatites. *Economic Geology*, 50th. Annual, Part II, p. 1025-1130.
- JARVIS, I.; JARVIS, K.E. (1992) Plasma spectrometry in the earth sciences: techniques, applications and future trends. *Chemical Geology*, v. 95, p. 1-33.
- JOHNSTON JR., W.D. (1945a) Pegmatitos ambligonita-berilo-tantalíferos do Ceará, Nordeste do Brasil. *Boletim. DNPM/DFPM*, n. 66, p. 1-44.
- JOHNSTON JR., W.D. (1945b) Os pegmatitos berilo-tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil. *Boletim. DNPM/DFPM*, n. 72, p. 1-83.
- JOHNSTON JR., W.D. (1945c) Beryl-tantalite pegmatites of northeastern Brazil. *Bulletin of the Geological Society of America*, v. 56, p. 1015-1070.
- JUCHEM, P.L. (1999) Mineralogia, geologia e gênese dos depósitos de ametista da região do Alto Uruguai, Rio Grande do Sul. São Paulo, 225p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- KEMP, J.F. (1924) The pegmatites. *Economic Geology*, v. 19, n. 8, p. 697-723.
- KING, L.C. (1956) A geomorfologia do Brasil Oriental. *Revista Brasileira de Geografia*, v. 18, n. 2, p. 147-265.
- KLEIN, C.; HURLBUT JR., C.S. (1999) *Manual of mineralogy*. 21. ed. New York, John Wiley & Sons. 681p.
- KÖEPPEN, W. (1948) *Climatologia: con-un estudio de los climas de la tierra*. México, Fondo de Cultura. 478 p.
- LANDES, K.K. (1933a) Origin and classification of pegmatites. *American Mineralogist*, v. 18, n. 2, p. 33-56.
- LANDES, K.K. (1933b) Origin and classification of pegmatites (concluded). *American Mineralogist*, v. 18, n. 3, p. 95-103.
- LANDES, K.K. (1935a) Age and distribution of pegmatites. *American Mineralogist*, v. 20, n. 2, p. 81-105.
- LANDES, K.K. (1935b) Age and distribution of pegmatites (concluded). *American Mineralogist*, v. 20, n. 3, p. 153-175.
- LEONARDOS, O.H.; FYFE, W.S. (1974) Ultrametamorphism and melting of a continental margin: the Rio de Janeiro region, Brazil. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 46, n. 3, p. 201-214.
- LEPREVOST, A. (1978) Berilo. In: _____. *Minerais para a indústria*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. p. 28-29.

- LIMA-de-FARIA, J. (1994) *Structural mineralogy, na introduction*. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 364p.
- LONDON, D. (1986) Formation of tourmaline-rich gem pockets in miarolitic pegmatites. *American Mineralogist*, v. 71, n. 3/4, p. 396-405.
- LOPES NUNES, J.E. (1973) *Contribution à l'étude minéralogique et géochimique des pegmatites du Mozambique*. Nancy, 261p. (Tese - Doutorado) - Sciences de la Terre, Mémoire 26, L'Université de Nancy.
- MACHADO, N.; VALLADARES, C.; HERBRON, M.; VALERIANO, C. (1996) U-Pb geochronology of the central Ribeira Belt (Brazil) and implications for the evolution of the Brazilian Orogeny. *Precambrian Research*, v. 79, p. 347 - 361.
- MARCIANO, V.R.P. da R.O. (1984) *Os feldspatos alcalinos*. São Paulo, 30p. (Exame de Qualificação) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MARCIANO, V.R.P. da R.O. (1985) *Contribuição ao estudo da mineralogia e geoquímica de pegmatitos da região de Governador Valadares, Minas Gerais*. São Paulo, 213p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MARCIANO, V.R.P. da R.O. (1995) *O Distrito Pegmatítico de Santa Maria de Itabira, MG: mineralogia, geoquímica e zoneografia*. São Paulo, 216p. (Tese - Doutorado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- MARCIANO, V.R.P. da R.O.; CORREIA NEVES, J.M. (1987) O emprego de infravermelhos na caracterização do boro em minerais pegmatíticos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., Porto Alegre, 1987. *Anais*. Porto Alegre, v. 2, p. 291-301.
- MARCIANO, V.R.P. da R.O.; CORREIA NEVES, J.M.; SVISERO, D.P.; QUINTÃO, N.H.; SILVA, L.C.T. da (1992b) Pegmatitos da borda sudeste do Cráton Sanfranciscano, em Minas Gerais: localização, características morfo-estruturais e mineralogia. *REM. Revista Escola de Minas*, v. 45, n. 1/2, p. 199-200.
- MARCIANO, V.R.P.R.O.; CORREIA NEVES, J.M.; SVISERO, D.P.; CASTILHO, D.L.; ROMEIRO, J.C.; FARIA, L.F. (1992a) Classificação dos corpos pegmatíticos da borda oriental do Cráton Sanfranciscano, através do estudo das muscovitas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37., São Paulo, 1992. *Anais*. São Paulo, SBG-SP, v. 2, p. 5-6.
- MARCIANO, V.R.P.R.O.; SVISERO, D.P.; CORREIA NEVES, J.M. (1993) Dados geocronológicos de pegmatitos da borda oriental do Cráton do São Francisco. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRÁTON DO SÃO FRANCISCO, 2., Salvador, 1993. *Anais*. Salvador, SBG - Núcleo Bahia-Sergipe. p. 362-365.
- MARTIN, R.F. (1982) Quartz and the feldspars. In: CERNÝ, P. (ed.). *Granitic pegmatites in science and industry*. Winnipeg, Mineralogical Association of Canada. p. 41-62. (Short course handbook, v. 8).
- METAMIG-METAIS DE MINAS GERAIS. (1987) *Projeto Pegmatitos: bases para a pesquisa dos pegmatitos graníticos*. Belo Horizonte, METAMIG. v. 1, 127p.

- MILOVSKY, A.V.; KONONOV, O.V. (1985) The pegmatite process and the association of minerals in pegmatites. In: _____. *Mineralogy*. Moscow, Mir Publishers. p. 265-272.
- MOENKE, H. (1966) *Mineralspektren, II*. Berlin, Akademik Verlag. (coleção de fichas).
- MONTEIRO, R.L.B.P. (1979) *Geologia da região de Coronel Murta e estudo do Pegmatito da Lavra da Serra*. Belo Horizonte, 87p. (Trabalho de Graduação) - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- MONTEIRO, R.L.B.P. (1981) *Geologia da folha de Coronel Murta, Minas Gerais*. Projeto Pegmatitos. 90p. (Relatório Final de Bolsa de Aperfeiçoamento - CNPq). Centro de Pesquisa Prof. Manuel Teixeira da Costa - Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais.
- MOREIRA, M.D. (1994) *Aplicações dos minerais e rochas industriais*. SBG, núcleo Bahia-Sergipe: Superintendência de Geologia e Recursos Minerais, Associação Baiana de Geólogos. 86p.
- MORTEANI, G.; GAUPP, R. (1989) Geochemical evaluation of the tantalum potential of pegmatites. In: MÖLLER, P.; CERNÝ, P.; SUAPÉ, F. (eds.) *Lanthanides, tantalum and niobium*. Berlin, Springer-Verlag. v. 7, p. 303-310.
- NETTO, C.; ARAÚJO, M.C.; PINTO, C.P.; DRUMOND, J.B.V. (coords.) (1999) Cadastramento de ocorrências minerais - pegmatitos. Belo Horizonte, SEME/COMIG/CPRM. 217p. (no prelo).
- NICHOLLS, J.; CRAWFORD, M.L. (1985) Fortran Programs for calculation of fluid properties from microthermometric data on fluid inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 11, n. 5, p. 614-645.
- NORTON, J.J. (1983) Sequence of mineral assemblages in differentiated granitic pegmatites. *Economic Geology*, v. 78, n. 5, p. 854-874.
- OHLWEILER, O.A. (1981) Espectroscopia de absorção molecular na região ultravioleta e visível. In: _____. *Fundamentos de análises instrumental*. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. p. 62-110.
- OHLWEILER, O.A. (1987) *Química analítica quantitativa*. 3. ed. Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos. 4 v.
- OLSACHER, J. (1946) *Introducción a la cristalografía*. Córdoba, Imprenta de la Universidad. 493p.
- PAIVA, G. de (1946) Províncias Pegmatíticas do Brasil. *Boletim. DNPM/DFPM*, n. 78, p. 13-21.
- PECORA, W.T.; KLEPPER, M.R.; LARRABEE, D.M.; BARBOSA, A.L.M.; FRAYHA, R. (1950a) Mica deposits in Minas Gerais, Brazil. *Geological Survey Bulletin*, v. 964-C, p. 205-305.
- PECORA, W.T.; SWITZER, G.; BARBOSA, A.L.; MYERS, A.T. (1950b) Structure and mineralogy of the Golconda Pegmatite, Minas Gerais, Brazil. *American Mineralogist*, v. 35, n. 9/10, p. 889-901.

- PEDROSA SOARES, A.C. (1984) *Metamorfismo, granitogênese e mineralizações associadas na região de Coronel Murta, NE de Minas Gerais, Brasil*. Brasília, 171p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- PEDROSA SOARES, A.C.; DARDENNE, M.A.; HASUI, Y.; CASTRO, F.D.C. de; CARVALHO, M.V.A. de (1994a) *Nota explicativa dos mapas geológico, metalogenético e de ocorrências minerais do Estado de Minas Gerais*. Escala 1:1.000.000. Belo Horizonte, SEME/COMIG, 97p.
- PEDROSA SOARES, A.C.; DARDENNE, M.A.; HASUI, Y.; CASTRO, F.D.C. de; CARVALHO, M.V.A. de (1994b) *Mapa geológico do Estado de Minas Gerais, escala 1:1.000.000*. Belo Horizonte, SEME/COMIG. 59p.
- PEDROSA SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; VIDAL, P.H.; MONTEIRO, R.L.B.P. (1992a) Discussão sobre novo modelo tectônico para a Faixa Araçuaí - Oeste Congoleza. *REM. Revista Escola de Minas*, v. 45, n. 1/2, p. 38-40.
- PEDROSA SOARES, A.C.; NOCE, C.M.; VIDAL, P.H.; MONTEIRO, R.L.B.P.; LEONARDOS, O.H. (1992b) Towards a new tectonic model for the Upper Proterozoic Araçuaí (SE Brazil) - west Congolian (SW Africa) belt. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 6, n. 1/2, p. 33-34.
- PEDROSA SOARES, A.C.; SIGA JR., O. (1987) Geoquímica, geocronologia e gênese dos granitos de Coronel Murta, Nordeste de Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., Porto Alegre, 1987. *Anais*. Porto Alegre, SBGq, p. 141-151.
- PINTO, C.P.; DRUMOND, J.B.V.; FÉBOLI, W.L. ET AL. (coords.) (1997) Projeto Leste - MG. Geologia, Etapa 1, Texto explicativo. Belo Horizonte, CPRM/SEME/COMIG. (no prelo).
- POTY, B.; LEROY, J.; JACHIMOWICS, L. (1976) Un nouvel appareil pour la mesure des températures sous le microscope: L'installation de microthermometrie CHAIXMECA. *Bulletin de la Societe Francaise de Mineralogie et de Cristallographie*, v. 99, n. 2/3, p. 182-186.
- POVARENENYKH, A.S. (1978) The use of infrared spectra for the determination of minerals. *American Mineralogist*, v. 63, n. 9/10, p. 956-959.
- PROCTOR, K. (1985b) Gem pegmatites of Minas Gerais, Brazil: the tourmalines of the Governador Valadares Districts. *Gems & Gemology*, v. 21, n. 2, p. 86-104.
- PUTZER, H. (1976) *Metallogenetische provinzen in suedamerika*. Stuttgart, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung. 318p.
- RIBBE, P.A. (1975) Feldspar mineralogy. *Reviews in Mineralogy*, v. 2, p. 1-362.
- RIBEIRO, J.H. (coord.) (1997) *Projeto Leste - MG, Folha Marilac SE.23-Z-B-VI - Escala 1:100.000*. Belo Horizonte, SEME/COMIG/CPRM. 48p.
- ROBBINS, J. (1986) "Feldspar and nepheline syenite: filling a need?". *Industrial Minerals*, n. 228, p. 69-101.
- ROBERTS, W.L.; RAPP JR., G.R.; WEBER, J. (1974) *Encyclopedia of minerals*. New York, Van Nostrand Reinhold. 693p.

- ROEDDER, E. (1982) Fluid inclusions in gemstones: valuable defects. In: INTERNATIONAL GEMOLOGICAL SYMPOSIUM, Santa Monica, USA, 1982. *Proceedings*. Santa Monica, Gemological Institute of America. p. 1479-1502.
- ROEDDER, E. (1984) Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy*, v. 12, p. 1-644.
- ROLFF, P.M. de A. (1946) Minerais dos pegmatitos da Borborema. *Boletim. DNPM/DFPM*, n. 78, p. 23-76.
- SAMPAIO FILHO, H. de A.; SIGHINOLFI, G.P.; GALLI, E. (1973) Contribution to the crystal chemistry of beryl. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, v. 38, n. 4, p. 279-290.
- SANTOS, E.G. dos (1985) *Mineralogia e zoneografia do Campo Pegmatítico da Golconda - Município de Governador Valadares - MG*. Rio de Janeiro, 96p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- SCHALLER, W.T.; STEVENS, R.E.; JAHNS, R.H. (1962) An unusual beryl from Arizona. *American Mineralogist*, v. 47, n. 5/6, p. 672-699.
- SCHMETZER, K.; BERNHARDT, H.J. (1994) Isomorphic replacement of Al and Si in tetrahedral Be and Si sites of beryl from Torrington, NSW, Australia. *Neues Jahrbuch für Mineralogie. Monatshefte*, n. 3, p. 121-129.
- SCHMETZER, K.; KIEFERT, L. (1990) Water in beryl - a contribution to the separability of natural and synthetic emeralds by infrared spectroscopy. *Journal of Gemmology*, v. 22, n. 4, p. 215-223.
- SCHOBENHAUS, C.; ALMEIDA, C.D.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (coords.) (1981) *Mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000*. Brasília, Ministério das Minas Energia / DNPM.
- SCHOBENHAUS, C.; ALMEIDA, C.D.; DERZE, G.R.; ASMUS, H.E. (coords.) (1984) *Geologia do Brasil - Texto explicativo do mapa geológico do Brasil e da área oceânica adjacente, incluindo depósitos minerais, escala 1:2.500.000*. Brasília, Ministério das Minas Energia / DNPM. 501p.
- SCHUMANN, W. (1992) *Gemas do Mundo*. 7. ed. Rio de Janeiro, Ao Livro Técnico. p. 254.
- SCHWARZ, D. (1987) A mineralogia do berilo e da esmeralda. In: _____. *Esmeraldas: inclusões em gemas*. Ouro Preto, Imprensa Universitária. p. 3-58.
- SHERIFF, B.L.; GRUNDY, H.D.; HARTMAN, J.S.; HAWTHORNE, F.C.; CERNÝ, P. (1991) The incorporation of alkalis in beryl: multi-nuclear MAS NMR and crystal-structure study. *Canadian Mineralogist*, v. 29, n. 2, p. 271-285.
- SHIGLEY, J.E.; KAMPF, A.R. (1984) Gem-bearing pegmatites: a review. *Gems & Gemology*, v. 20, n. 2, p. 64-77.
- SILVA, A.S.; MIGNON, R.A.; NEVES, S.B.; LEÃO, E.; PIMENTEL, E.C. (1978a) *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo - Folha SE-23: Belo Horizonte*. Brasília, DNPM/DGM.

- SILVA, A.S. da; PIMENTEL, E. de C.; NEVES, S.B.; COLPAERT, H.; RAMOS, O. (1978b) *Carta Geológica do Brasil ao Milionésimo - Folha SE.24: Rio Doce, escala 1:1.000.000*. Brasília, DNPM/DGM.
- SILVA, E.F.A. da; CUNHA, J.C.; MARINHO, M.M. (1996) *Pegmatitos da região de Itambé, Bahia: geologia e potencialidade econômica*. Companhia Baiana de Pesquisa Mineral CBPM, Série Arquivos Abertos. n. 10, 30p.
- SILVA, S.L. da (1985) *Folha SE.23-Z-C: Belo Horizonte, Textos e Mapas. Escala 1:250.000*. Brasília. DNPM/CPRM, 17p.
- SINKANKAS, J. (1981) *Emeralds and other beryls*. Radnor, Chilton Book. 665p.
- SMIRNOV, V.I. (1982) *Geologia de yacimientos minerales*. Moscou, Editorial Mir. 654p.
- SMITH, J.V. (1974a) *Feldspar minerals, crystal structure and physical properties*. Berlin, Springer-Verlag. v. 1, 622p.
- SMITH, J.V. (1974b) *Feldspar minerals, chemical and textural properties*. Berlin, Springer-Verlag. v. 2, 690p.
- SOUZA, J.L. de (1988) *Mineralogia e geologia da esmeralda da jazida de Itabira, Minas Gerais*. São Paulo, 192p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.
- SPILE, M.N.; SHEARER, C.K. (1992) A comparison of tantalum-niobium oxide assemblages in two mineralogically distinct rare element granitic pegmatites, Black Hills, South Dakota. *Canadian Mineralogist*, v. 30, n. 3, p. 719 - 737.
- STAATZ, M.H.; GRIFFITHS, W.R.; BARNETT, P.R. (1965) Differences in the minor element composition of beryl in various environments. *American Mineralogist*, v. 50, n. 10, p. 1783-1795.
- SVISERO, D.P.; FRANCO, R.R. (1987a) Conceito, nomenclatura e classificação das gemas. *REM. Revista Escola de Minas*, v. 40, n. 3, p. 3-7.
- SVISERO, D.P.; FRANCO, R.R. (1987b) A província gemológica brasileira. *REM. Revista Escola de Minas*, v. 40, n. 3, p. 37-42.
- TAYLOR, S.R.; EMELEUS, C.H.; EXLEY, C.S. (1956) Some anomalous K/Rb ratios in igneous rocks and their petrological significance. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 10, n. 4, p. 224-229.
- TROUW, R.A.J.; RIBEIRO, A.; PACIULLO, F.V.P. (1986) Contribuição à geologia da Folha Barbacena - 1:250.000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 34., Goiânia, 1986. *Anais*. Goiânia, SBG. v. 2, p. 974-986.
- TRUEMAN, D.L.; CERNÝ, P. (1982) Exploration for rare element granitic pegmatites. In: CERNÝ, P. (ed.) *Granitic pegmatites in science and industry*. Winnipeg, Mineralogical Association of Canada. p. 463-493. (Short course handbook, v. 8).
- TURNER, F.J.; VERHOOGEN, J. (1978) *Petrologia ígnea y metamórfica*. Barcelona, Ediciones Omega. 726p.

- UEBEL, P.J. (1977) Internal structure of pegmatites, its origin and nomenclature. *Neues Jahrbuch für Mineralogie. Abhandlungen*, v. 131, n. 1, p. 83-113.
- VARLAMOFF, N. (1972) Central and West African rare-metal granitic pegmatites, related aplites, quartz veins and mineral deposits. *Mineralium Deposita*, v. 7, n. 2, p. 202-216.
- VIANA, H.S. (1991) Projeto Barbacena, Folha de Barbacena SF.23-X-C-III, Estado de Minas Gerais. Relatório Final. Brasília DNPM/CPRM.
- VIEIRA, V.L. (1985) *Projeto Mapa Metalogenético e de Previsão de Recursos Minerais: Folha Guanhães (SE.23-Z-B)*. Belo Horizonte, DNPM/CPRM. 17p.
- WEGNER, R. (1983a) *Spurenelemente in granitpegmatiten im bundesstaat Minas Gerais, Brasilien, unter besonderer berücksichtigung der feldspäte*. Freiburg, 154p. (Tese - Doutorado) - Universidade de Albert-Ludwigs.
- WEGNER, R.R. (1983b) Elementos traço em feldspatos e micas de pegmatitos graníticas no norte de Minas Gerais. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DE MINAS GERAIS, 2., Belo Horizonte, 1983. *Anais*. Belo Horizonte, SBG-MG. v. 3, p. 214-218.
- WEISBROD, A.; POTY, B.; TOURET, J. (1976) Les inclusions fluides en géochimie-petrologie: tendances actuelles. *Bulletin de la Societe Francaise de Mineralogie et de Cristallographie*, v. 99, n. 2/3, p. 140-152.
- WINKLER, H.G.F. (1977) *Petrogênese das rochas metamórficas*. 4. ed., São Paulo, Edgar Blücher. 254p.
- WOOD, D.L.; NASSAU, K. (1967) Infrared spectra of foreign molecules in beryl. *Journal of Chemical Physics*, v. 47, n. 7, p. 2220-2228.
- WOOD, D.L.; NASSAU, K. (1968) The characterization of beryl and emerald by visible and infrared absorption spectroscopy. *American Mineralogist*, v. 53, n. 5/6, p. 777-800.
- XAVIER, R.P. (1987) *Estudos de inclusões fluidas na mina de ouro Fazenda Brasileiro, "Greenstone Belt" do rio Itapicuru, Bahia*. São Paulo, 142p. (Dissertação - Mestrado) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo.