

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

TESE DE DOUTORADO

**CONTRIBUIÇÃO À PETROLOGIA DE PEGMATITOS MINERALIZADOS EM
ELEMENTOS RAROS E ELBAÍTAS GEMOLÓGICAS DA PROVÍNCIA
PEGMATÍTICA DA BORBOREMA, NORDESTE DO BRASIL**

Autor:

Dwight Rodrigues Soares

Orientador:

Prof. Dr. Hartmut Beurlen

Co-orientador:

Prof. Dr. Marcelo Reis Rodrigues da Silva

Recife, abril de 2004

DWIGHT RODRIGUES SOARES

Engenheiro de Minas, UFPB, 1987

Mestre em Geociências, UFPE, 1998

**CONTRIBUIÇÃO À PETROLOGIA DE PEGMATITOS MINERALIZADOS EM
ELEMENTOS RAROS E ELBAÍTAS GEMOLÓGICAS DA PROVÍNCIA
PEGMATÍTICA DA BORBOREMA, NORDESTE DO BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geociências, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, em 06 de abril de 2004, como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Geociências, área de concentração Petrologia, Litogeoquímica e Evolução Crustal

Recife, PE, 2004

**CONTRIBUIÇÃO À PETROLOGIA DE PEGMATITOS
MINERALIZADOS EM ELEMENTOS RAROS E ELBAÍTAS
GEMOLÓGICAS DA PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA
BORBOREMA, NORDESTE DO BRASIL**

DWIGHT RODRIGUES SOARES

Aprovado


Prof. Dr. Hartmut Bourlen, UFPE (Orientador)

06/04/2004


Prof. Dr. Marcelo Reis Rodrigues da Silva, UFPE (Co-orientador)

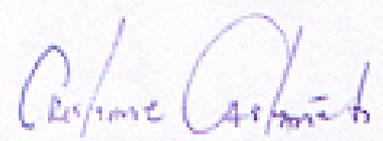
06/04/2004


Profa. Dra. Valdevez Pinto Ferreira, UFPE

06/04/2004


Prof. Dr. Reinhard Richard Wegner, UFCG

06/04/2004


Profa. Dra. Cristiane Castañeda, UFMG

06/04/2004

AGRADECIMENTOS

Este trabalho tornou-se possível graças a colaboração prestada por várias pessoas e entidades, ao longo das diversas etapas de seu desenvolvimento, às quais o autor agradece penhoradamente.

Ao CNPq pelo suporte financeiro através do processo 470199/01 e de bolsa de doutorado a Capes pelo suporte financeiro através de bolsa de doutorado, sem as quais não seria possível o desenvolvimento deste estudo.

Ao professores. Dr. Hartmut Beurlen (orientador) e Dr. Marcelo Reis Rodrigues da Silva (co-orientador) pela competente e dedicada orientação, pelos quais tenho profunda gratidão.

Ao coordenador do Programa de Pós-graduação em Geociências da UFPE, professor Dr. José Geilson Alves Demetrio pelo apoio oferecido.

À Mineração Terra Branca, na pessoa de seu diretor, Sr. Sebastião L. Ferreira, pelo acesso aos pegmatitos Capoeira e apoio fornecido durante nossas visitas.

À Mineração Ita-Roca Atlantis Mineração Ltda, na pessoa de seu diretor, geólogo Cláudio Holanda pelo acesso ao pegmatito Boqueirão, bem como pelo apoio durante nossas visitas.

Ao Drs. W. Heinrich e R. Thomas do GeoForschungsZentrum Potsdam, Alemanha, pela inestimável colaboração nas análises de microsonda eletrônica de nióbio-tantalatos.

Aos que fazem a Acme Analytical Laboratories Ltd., especialmente ao Sr. Freddy Fenández Garín, gerente da Acme Brasil.

À professora Dra. Valderez Pinto Ferreira pela inestimável colaboração nas análises de fluorescência de raios-X (NEG-LABISE, UFPE), revisão de parte do texto, sugestões e incentivo.

Ao professor Dr. Excelso Rupperti e Marcos de Souza Mansueto, pelas análises através de microsonda eletrônica (IG-USP) e pela acolhida e assistência.

Aos professores Dr. Bernardino Figueiredo e Dr. Roberto Peres Xavier e o Sr. Dailton Silva por viabilizar o desenvolvimento de análises através de microscópio eletrônico de varredura e microespectroscopia Raman a raio Laser (IGE-UNICAMP).

Ao professor Dr. Reinhard Richard Wegner pelo estímulo, amizade e colaboração na coleta de amostras.

À professora Dra. Sandra de Brito Barreto pelo constante incentivo, amizade e colaboração durante o transcorrer do curso.

À professora Dra. Ignez de Pinho Guimarães pelas correções e sugestões.

Ao professor Dr. Maurício Rangel da Silva pelo eficiente auxílio no desenvolvimento de cálculos estequiométricos.

Aos professores José Aderaldo de Medeiros Ferreira e Ana Cláudia Mousinho Ferreira, pela amizade, incentivo e ainda pelas amostras de turmalina fornecidas.

Ao professor Edilton Santos pela leitura, sugestões e críticas no capítulo Geologia Regional.

Ao professor Cláudio de Castro pelo incentivo e apoio durante o transcorrer dos trabalhos de tese.

Às amigas Maria Clélia Aragão Barreto, Roberta Galba Brasilino, Silvana Diene Sousa Barros e Flávia Milene Moura de Oliveira pela colaboração inestimável na confecção de figuras, editoração da tese e incentivo.

Agradecimentos especiais a Walmisa Alves de Araújo, secretária do Pós-Graduação em Geociências.

Agradecimentos especiais a Zuleide do Nascimento Soares (mãe), Lindalva Florêncio do Nascimento Soares (esposa) e Pedro Rodrigues Soares Neto (filho), pela compreensão, tolerância, incentivo e estímulo constantes.

Enfim a todos os alunos, professores e funcionários Pós-Graduação em Geociências, pela amizade, estímulo e convívio salutar, o nosso agradecimento.

A Província Pegmatítica da Borborema (PPB) é mundialmente conhecida desde a II Guerra Mundial por seus pegmatitos mineralizados principalmente em Ta-Nb, Be, Sn, Li e minerais-gemas (elbaíta, água marinha, morganita, espessartita, etc.). Esses pegmatitos graníticos, de idade Brasiliana (Neoproterozóico), estão encaixados principalmente em biotita-xistos da Formação Seridó e em quartzitos e metaconglomerados da Formação Equador. A geologia, estrutura interna e mineralogia destes pegmatitos graníticos vêm sendo estudadas há mais de meio século, mas novas espécies minerais continuam a ser descritas, até os dias atuais. Os primeiros estudos de litogeoquímica, química mineral e de inclusões fluidas, foram publicados durante a última década e são ainda muito escassos. Desenvolveram-se estudos de inclusões fluidas, litogeoquímica e química mineral em micas, feldspatos, turmalina, granada, gahnita e nióbio-tantalatos. Os pegmatitos Boqueirão, Capoeira 1, 2 e 3, e Quintos, situados no município de Parelhas, Estado do Rio Grande do Norte foram selecionados para este estudo devido a sua perfeita zonação, no primeiro caso e por causa de trabalhos mineiros ativos nos outros casos, possibilitando a obtenção sistemática de amostras frescas e bem localizadas. São pegmatitos heterogêneos típicos, encaixados discordantemente em quartzitos e metaconglomerados da Formação Equador, mineralizados em elementos raros, conhecidos classicamente pela produção de tantalatos, berilo e espodumênio. Os pegmatitos Capoeira e Quintos foram reativados recentemente para a extração da elbaíta mundialmente conhecida como “turmalina Paraíba”, de cor azul turquesa e brilho excepcional. São registrados rosetas de elbaíta crescendo a partir de uma massa de albíta em direção a bolsões de quartzo da parte central dos pegmatito Quintos e Capoeira 2. Estas feições sugerem uma origem primária para os agregados elbaíta-albíta em vez de formarem corpos de substituição, como se supunha. A ocorrência de nióbio-tantalatos *exóticos* na zona II do pegmatito Quintos, sugere um alto grau de fracionamento. A ocorrência de apófises de quartzo-albíta-turmalina, conectado por meio de veios albíticos à zona de albíta do pegmatito Capoeira 2, indica a possibilidade de que os pegmatitos Capoeira 2 e 3, pequenos e mais fracionados, tenham se formado a partir de apófises do pegmatito Capoeira 1, maior e menos fracionado. Análises de microsonda eletrônica em turmalinas negras da zona de borda dos pegmatitos Quintos e Capoeira revelaram tratar-se de dravitas e não schorlitas como se supunha, baseados em razões $Fe/(Fe+Mg)$ variando entre 0,30 a 0,48. As elbaítas gemológicas dos pegmatitos Quintos e Capoeira se distinguem de elbaítas usuais pelos altos teores de CuO, atingindo 1,73% em peso, excesso de Al na posição estrutural Y e grande vacância (até 0,49apfu) na posição X, confirmando dados de outros autores. Estes dados indicam que elas se cristalizaram em temperaturas mais baixas que as elbaítas do pegmatito Boqueirão. As granadas têm de 56% a 88 mol% de espessartita, onde os maiores teores de Mn foram encontrados nas granadas do pegmatito Quintos. Não se observam variações químicas consideráveis ao longo de perfis borda-núcleo em um mesmo cristal de granada. Altas relações Zn/Fe (13,27 a 14,2) e 83,3 a 92,1mol% de gahnita em espinélio verde dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos corroboram com alto grau de fracionamento destes pegmatitos. Análises de elementos maiores e traços em muscovitas, por fluorescência de raios-X e por ICP-MS revelam conteúdos de Rb de até 10200 ppm e relações K/Rb variando entre 8 e 69. A interpretação de relações gráficas K/Rb *versus* Rb, K/Rb *versus* Ba, K/Rb *versus* Zn, K/Rb *versus* Ga e Al/Ga *versus* Ga, permitem classificar, ainda preliminarmente, esses pegmatitos como tipo “complexo”, subtipo “lepidolita”. A química mineral de granada e turmalina são coerentes com esta classificação. O pegmatito Quintos, de acordo com estes dados, é o que alcançou o maior grau de fracionamento, seguido por Capoeira 2 e 3, sendo Capoeira 1 e Boqueirão, os menos fracionados. Dois principais grupos de inclusões fluidas (IF), respectivamente aquosas e aquocarbônicas, podem ser observadas. As IF aquocarbônicas de baixa salinidade (2-4% NaCleq., em peso) e 40 a 50 vol. %CO₂ líquido, são formadas já durante a cristalização da

zona de contato dos pegmatitos, coexistindo com o magma pegmatítico até o final da cristalização da zona de blocos de feldspato (III). A fase carbônica dessas IF é predominantemente CO₂, com 0,3 a 1,2mol% de N₂ e outros voláteis abaixo dos limites de detecção da microespectrometria Raman. As IF aquosas, com moderada salinidade (10 a 25% NaCleq., em peso), se individualizaram durante a formação dos núcleos de quartzo e corpos de substituição, seguidas por inclusões aquosas de baixa salinidade em estágio tardio da formação do quartzo. Dados microtermométricos de inclusões fluidas, em combinação com dados petrológicos experimentais existentes sobre as condições de estabilidade de espodumênio e euclásio, permitem estimar as condições de cristalização dos pegmatitos entre 580-400°C e 3,8kbar, em condições isobáricas. A saturação precoce em H₂O e CO₂ seguida por saturação em água contrasta com observações em muitas outras províncias pegmatíticas no mundo, onde dados de IF estão disponíveis. A saturação precoce em voláteis está também em desacordo com resultados experimentais de saturação em água, com vidro "macusani" simulando a cristalização de pegmatitos, mas outros exemplos de saturação precoce são conhecidos na literatura. Observações de campo, dados de química mineral e de inclusões fluidas indicam diferenças nos graus de fracionamento entre os pegmatitos estudados. Os pegmatitos Capoeira 2 e Quintos, portadores das elbaítas do tipo "turmalina Paraíba", são os mais evoluídos. Os dados de química mineral sugerem um alto grau de fracionamento dos pegmatitos estudados em comparação com dados de outros pegmatitos da Província. Finalmente, as diferenças no grau de fracionamento e observações de campo sugerem a possibilidade de diferentes estágios de formação de pegmatitos na Província.

Palavras-chave: Província Pegmatítica da Borborema, química mineral, elbaíta, dravita, schorlita, granada, gahnita, nióbio-tantalatos, inclusões fluidas.

The Borborema Pegmatitic Province (PPB) is well known worldwide since the II World War for its pegmatites mineralized mainly in Ta-Nb, Be, Sn, Li and gemstones (elbaite, aquamarine, morganite, euclase, spessartine, etc.). These granitic pegmatites of Brazilian age (Neoproterozoic) are mostly enclosed by biotite-schists of the Seridó Formation and by metaconglomerates and quartzites of the Equador Formation. Geology, internal structure and mineralogy of the pegmatites were studied since the forties, but new mineral species are being discovered until today. The first lithochemical, mineral chemistry and also fluid inclusion studies were published during the last ten years and are still very deficient. A petrological study of selected pegmatites was carried out using fluid inclusions, lithochemical and mineral chemistry analyses in micas, feldspars, tourmalines, garnet, gahnite and niobium-tantalates. The Boqueirão, Capoeira 1, 2 and 3, and Quintos pegmatites in the municipality of Parelhas, State of Rio Grande do Norte were selected for the study because of the perfect internal zonation in the first case and because of the active mining in the other cases, always allowing to get fresh samples. They are typical heterogeneous discordant pegmatites, enclosed in metaconglomerates and quartzites of the Equador Formation, mineralized in rare elements, known classically for its production of tantalates, beryl and spodumene. The mining in Capoeira and Quintos pegmatites was reactivated recently for extraction of the worldwide famous "Paraíba tourmaline", a turquoise blue-green elbaite with a special bright. Elbaite rosettes are recorded growing from albite aggregates of the zone III into quartz pockets in the central part of the Quintos and Capoeira 2 pegmatites. This feature suggests a primary origin of these tourmalines and albite instead a formation as replacement bodies as formerly supposed. "Exotic tantalates" occurring in the zone II of the Quintos pegmatite suggest a high degree of fractionation. The occurrence of quartz-albite-tourmaline rich apophyses connected by albite veins with the albite rich zone of the Capoeira 2 pegmatite indicates the possibility that the smaller and more fractionated Capoeira 2 and 3 pegmatites may have been formed themselves as apophyses of the less fractionated and larger Capoeira 1 pegmatite. Electron microprobe analyses of black tourmalines occurring at the contact zone of the Quintos and Capoeira pegmatites, allowed to classify them as dravites, based on the cationic Fe/(Fe+Mg) ratios of 0.30 to 0.48, instead of the usually supposed schorl composition for black pegmatite tourmalines. The gemologic elbaite of the Quintos and Capoeira pegmatites are distinguished from usual elbaite by its high, up to 1.73 wt% CuO contents, excessive Al contents in the Y site and high vacancy (0.49apfu) in the X site, in accordance with previous data by other authors. These data indicate that they crystallized at lower temperatures than elbaite of the Boqueirão pegmatite. The garnets present 56 to 88 mol percent of spessartine, with the highest contents being observed in the Quintos pegmatite. There are no significant compositional variations between the core and rim of single garnet crystals. High Zn/Fe atomic ratios (13.75 to 14.2) and 83.3 to 92.1 mol% of gahnite in green spinel of the Quintos and Capoeira 2 pegmatites corroborates the high degree of fractionation. XRF and ICP-MS analyses of muscovites indicate Rb contents up to 10,200 ppm and K/Rb ratios going down to 8. The still preliminary K/Rb *versus* Rb, Ba, Zn, Ga and Al/Ga *versus* Ga plots allow to classify the pegmatites as rare element type pegmatites of the lepidolite subtype. The observed tourmaline and garnet chemistry is also in agreement with this classification. The Quintos pegmatite according to these data is the most evolved among the studied pegmatites, followed by Capoeira 2 and 3 and, finally, the least fractionated Boqueirão and Capoeira 1 pegmatites. Two main groups of fluid inclusion (FI) types, respectively aqueous and aquo-carbonic, may be distinguished. Aqueous-carbonic FI with low salinity (2-4wt% NaCleq.) and 40 to 50vol% liquid CO₂ were formed already during the crystallization of the contact zone of the pegmatites and coexisted with the pegmatite magma until the crystallization of the end of blocky feldspar zone (III). The carbonic phase of these FI is CO₂ dominated with 0.3 to 1.2 mol % N₂ and other volatiles below detection limit by Raman Microspectrometry. The aqueous FI with moderate 10 to 25wt% NaCl eq. individualized during the formation of the

quartz core and replacement bodies, followed by low salinity aqueous inclusions in the latest stage of quartz formation. The FI microthermometric data, combined with the stability conditions of spodumene and euclase allow to estimate the conditions of pegmatite crystallization between 580 and 400°C under 3,8kbar isobaric conditions. The early saturation in water and carbon dioxide followed by water saturation is in contrast with most other pegmatite provinces where FI data are available. The early volatile saturation is also in disagreement with the experimental results water saturation on pegmatite like macusani glass but other examples of early saturation are known from the literature. Field observations, mineral chemistry and fluid inclusion data indicate differences of the degree of fractionation between the studied pegmatites. The "Paraíba tourmaline" bearing Quintos and Capoeira 2 pegmatites are the most fractionated ones. The data on mineral chemistry suggest a higher degree of fractionation of the studied pegmatites in comparison with data from other pegmatites studied in the Province. Finally, differences in the degree of fractionation and field observation suggest the possibility of different stages of rare-element bearing pegmatite formation in the Province.

Key words: Borborema Pegmatitic Province, mineral chemistry, elbaite, dravite, schorl, garnet, gahnite, niobium-tantalates, fluid inclusions.

CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	1
CAPÍTULO II – MÉTODOS DE ESTUDO E AMOSTRAGEM	
2.1 – Trabalhos de Campo e Amostragem.....	3
2.2 – Trabalhos de Laboratório.....	4
2.2.1 – Preparação de Amostras.....	4
2.2.2 – Difração de Raios-X.....	5
2.2.3 – Análises Químicas.....	5
2.2.4 – Estudo Microtermométrico de Inclusões Fluidas.....	7
2.2.5 – Microespectrometria Raman de Inclusões Fluidas.....	8
CAPÍTULO III – PEGMATITOS GRANÍTICOS: REVISÃO	
3.1 – Definições.....	9
3.2 – Classificações.....	9
3.3 – Morfologia e Estrutura Interna.....	13
3.4 – Mineralogia e Composição Química.....	17
3.5 – Geoquímica e Zoneamento Regional.....	18
3.6 – Petrogênese.....	19
CAPÍTULO IV – GEOLOGIA REGIONAL	
4.1 – Província Borborema: Quadro Geral.....	23
4.2 – Faixa de Dobramentos Seridó.....	26
4.2.1 – Estratigrafia.....	26
4.2.2 – Aspectos Estruturais.....	29
4.2.3 – Plutonismo Granítico.....	30
CAPÍTULO V – PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA: ESTUDOS ANTERIORES	
5.1 – Aspectos Gerais.....	33
5.2 – Classificação e Estrutura Interna.....	33
5.3 – Alojamento.....	37
5.4 – Mineralogia.....	38
5.5 – Petrologia e Geoquímica.....	40
5.6 – Zoneamento Regional.....	41
CAPÍTULO VI – DESCRIÇÃO DOS PEGMATITOS ESTUDADOS	
6.1 – Pegmatito Boqueirão.....	43
6.2 – Pegmatitos Capoeira.....	49
6.2.1 – Pegmatito Capoeira 1.....	51
6.2.2 – Pegmatito Capoeira 2.....	54
6.2.3 – Pegmatito Capoeira 3.....	59
6.3 – Pegmatito Quintos.....	62
CAPÍTULO VII – ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS	
7.1 – Origem e Significado das Inclusões Fluidas.....	67
7.2 – Classificação e Descrição das Inclusões Fluidas Estudadas.....	68
7.2.1 – Inclusões Fluidas no Pegmatito Boqueirão.....	70
7.2.2 – Inclusões Fluidas nos Pegmatitos Capoeira.....	70
7.2.3 – Inclusões Fluidas no Pegmatito Quintos.....	71
7.3 – Discussões e Interpretações dos Resultados Microtermométricos.....	73
CAPÍTULO VIII – QUÍMICA MINERAL	
8.1 – Micas.....	79
8.1.1 – Micas do Pegmatito Boqueirão.....	80
8.1.2 – Micas dos Pegmatitos Capoeira.....	81

8.1.3 – Micas do Pegmatito Quintos.....	81
8.1.4 – Interpretação da Química Mineral e Discussão.....	82
8.2 – Feldspatos.....	93
8.2.1 – Feldspatos do Pegmatito Boqueirão.....	94
8.2.2 – Feldspatos dos Pegmatitos Capoeira.....	95
8.2.3 – Feldspatos do Pegmatito Quintos.....	96
8.2.4 – Interpretação da Química Mineral e Discussão.....	96
8.3 – Turmalinas.....	103
8.3.1 – Turmalinas do Pegmatito Boqueirão.....	106
8.3.2 – Turmalinas dos Pegmatitos Capoeira.....	107
8.3.3 – Turmalinas do Pegmatito Quintos.....	112
8.3.4 – Caracterização e Classificação das Turmalinas Estudadas.....	114
8.3.5 – Interpretação da Química Mineral e Discussão.....	120
8.4 – Nióbio-tantalatos.....	128
8.4.1 – Nióbio-tantalatos do Pegmatito Boqueirão.....	129
8.4.2 – Nióbio-tantalato do Pegmatito Capoeira 2.....	130
8.4.3 – Nióbio-tantalatos do Pegmatito Quintos.....	130
8.4.4 – Discussão.....	136
8.5 – Granadas.....	136
8.5.1 – Granadas do Pegmatito Boqueirão.....	138
8.5.2 – Granadas dos Pegmatitos Capoeira.....	138
8.5.3 – Granadas do Pegmatito Quintos.....	140
8.5.4 – Interpretação da Química Mineral e Discussão.....	140
8.6 – Gahnita.....	145
8.6.1 – Gahnita do Pegmatito Capoeira 2.....	146
8.6.2 – Gahnita do Pegmatito Quintos.....	147
8.6.3 – Discussão.....	150
CAPÍTULO IX – CONCLUSÕES.....	152
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	158

ANEXOS

Anexo I – Minerais Acessórios dos Pegmatitos da PPB

Anexo II – Dados Microtermométricos das Inclusões Fluidas

Anexo III – Análises Químicas das Micas e Feldspatos

Anexo IV – Análises Químicas das Turmalinas

Anexo V – Análises Químicas dos Nióbio-tantalatos

Anexo VI – Análises Químicas das Granadas

Anexo VII – Espectros MEV

CAPÍTULO II – MÉTODOS DE ESTUDO E AMOSTRAGEM

Figura 2.1 – Fluxograma do processo de preparação de amostras destinadas à análise química..... 4

CAPÍTULO III – PEGMATITOS GRANÍTICOS: REVISÃO

Figura 3.1 – Bloco diagrama mostrando relações entre unidades estruturais em pegmatitos, segundo Cameron *et al.* (1949)..... 14

Figura 3.2 – Esquema textural-paragenético e zoneamento de pegmatitos, segundo Vlasov (1952)..... 15

Figura 3.3 – Representação esquemática de zoneamento regional de pegmatitos (Černý, 1991b)..... 19

CAPÍTULO IV – GEOLOGIA REGIONAL

Figura 4.1 – Província Estrutural da Borborema..... 24

Figura 4.2 – Mapa simplificado da Faixa Seridó e seu embasamento, segundo Jardim de Sá (1994)..... 27

Figura 4.3 – Estratigrafia do Grupo Seridó, segundo Jardim de Sá (1994)..... 29

CAPÍTULO V – PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA: ESTUDOS ANTERIORES

Figura 5.1 – Delimitação da Província Pegmatítica da Borborema (PPB), em base geológica simplificada..... 34

Figura 5.2 – Estrutura Interna de pegmatitos heterogêneos em corte transversal esquemático..... 36

Figura 5.3 – Relações estruturais entre pegmatitos e suas encaixantes, segundo Araújo *et al.* (2001)..... 38

Figura 5.4 – Zoneamento regional de pegmatitos da PPB (Cunha e Silva, 1981)..... 42

CAPÍTULO VI – DESCRIÇÃO DOS PEGMATITOS ESTUDADOS

Figura 6.1 – Localização dos pegmatitos estudados, em base geológica simplificada..... 44

Figura 6.2 – Esboço geológico do pegmatito Alto Boqueirão..... 45

Figura 6.3 – Mapa de localização dos pegmatitos Capoeira..... 50

Figura 6.4 – Esboço geológico do pegmatito Capoeira 1..... 52

Figura 6.5 – Bloco diagrama do pegmatito Capoeira 2..... 55

Figura 6.6 – Apófise de albita ligada à zona de albita do pegmatito Capoeira 2..... 58

Figura 6.7 – Bloco diagrama do pegmatito Capoeira 3..... 60

Figura 6.8 – Esboço geológico dos arredores do pegmatito Quintos..... 63

CAPÍTULO VII – ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS

Figura 7.1 – Cristal bipiramidal de quartzo de corpo de substituição do pegmatito Capoeira 1, registrando vários estágios de cristalização e evolução dos fluidos..... 71

Figura 7.2 – Diagrama Temperatura de Homogeneização *versus* Salinidade para IF em cristais de quartzo do pegmatito Boqueirão..... 73

Figura 7.3 – Espectro Raman típico de IF tipo A (pegmatito Capoeira 1)..... 76

Figura 7.4 – Isócoras representativas de vários tipos de IF de pegmatitos da PPB..... 76

CAPÍTULO VIII – QUÍMICA MINERAL

Figura 8.1 – Diagrama K/Rb *versus* Rb para muscovitas dos pegmatitos estudados..... 85

Figura 8.2 – Diagrama K/Rb *versus* Ba para muscovitas dos pegmatitos estudados..... 86

Figura 8.3 – Diagrama K/Rb *versus* Ga para muscovitas dos pegmatitos estudados..... 87

Figura 8.4 – Diagrama K/Rb <i>versus</i> Zn para muscovitas dos pegmatitos estudados.....	88
Figura 8.5 – Diagrama K/Rb <i>versus</i> Be para muscovitas dos pegmatitos estudados.....	89
Figura 8.6 – Diagrama K/Rb <i>versus</i> W para muscovitas dos pegmatitos estudados.....	90
Figura 8.7 – Diagrama K/Rb <i>versus</i> Ta para muscovitas dos pegmatitos estudados.....	90
Figura 8.8 – Diagrama Al/Ga <i>versus</i> Ga para muscovitas dos pegmatitos estudados.....	91
Figura 8.9 – Diagrama Ta <i>versus</i> Ga para muscovitas dos pegmatitos estudados.....	92
Figura 8.10 – Diagrama K/Rb <i>versus</i> Rb para K-feldspato dos pegmatitos estudados.....	97
Figura 8.11 – Diagrama K/Rb <i>versus</i> Cs para K-feldspato dos pegmatitos estudados.....	100
Figura 8.12 – Diagrama K/Rb <i>versus</i> Ga para K-feldspato dos pegmatitos estudados.....	100
Figura 8.13 – Diagrama K/Rb <i>versus</i> Ba para todos feldspatos dos pegmatitos estudados.....	101
Figura 8.14 – Diagrama K/Rb <i>versus</i> Rb/Sr para K-feldspato dos pegmatitos estudados..	101
Figura 8.15 – Diagrama K/Rb <i>versus</i> Be para K-feldspato dos pegmatitos estudados.....	102
Figura 8.16 – Diagrama Al/Ga <i>versus</i> Ga para K-feldspato dos pegmatitos estudados.....	102
Figura 8.17 – Diagrama ternário Ca-□-(Na+K) para turmalinas estudadas, segundo a classificação de Henry & Hawthorne (1999).....	114
Figura 8.18 – Diagrama ternário Fe ²⁺ -Mg-[Al(Y)+Li] (Dietrich, 1985) para turmalinas estudadas.....	115
Figura 8.19 – Diagrama ternário Al-Fe-Mg (Henry & Guidotti, 1985) para turmalinas estudadas.....	116
Figura 8.20a – Diagrama Ca/(Ca+Na) <i>versus</i> Fe/(Fe+Mg) para turmalinas estudadas, da série dravita-schorlita, de Selway <i>et al.</i> (1998).....	117
Figura 8.20b – Diagrama □/(□+Na) <i>versus</i> Mg/(Mg+Fe) (Williamson <i>et al.</i> , 2000) para turmalinas estudadas, da série dravita-schorlita.....	118
Figura 8.21 – Diagrama F <i>versus</i> Li _{calc.} para elbaítas estudadas, modificado de Tindle <i>et al.</i> (2002).....	119
Figura 8.22 – Diagrama Vacância em X <i>versus</i> Al(Y) para todas turmalinas estudadas....	120
Figura 8.23 – Diagrama (R ⁺ +R ²⁺) <i>versus</i> R ³⁺ (Gallagher, 1988) para todas as turmalinas estudadas.....	121
Figura 8.24 – Diagrama (Fe+Mg+Mn) <i>versus</i> (Al _{total} +Li _{Calc.}) (Keller <i>et al.</i> , 1999) para elbaítas estudadas.....	123
Figura 8.25 – Diagrama Fe _{total} <i>versus</i> Mg (Medaris Jr. <i>et al.</i> , 2003) para todas turmalinas estudadas.....	124
Figura 8.26a a g – Diagramas (Fe+Mg) <i>versus</i> Fe, Mg, Mn, Al(Y), Li _{calc.} , F, vacância (□) para todas as turmalinas estudadas.....	125
Figura 8.27a e b – Perfis borda-núcleo-borda em cristais de elbaíta multicolorida e dravita-schorlita.....	128
Figura 8.28 – Imagem BSE obtida por MEV de mangano-columbita do pegmatito Capoeira 2.....	130
Figura 8.29 – Perfil borda-núcleo-borda de um cristal de Ti-ixiolita do pegmatito Quintos..	133
Figura 8.30 – Diagrama Nb,Ta-Ti,Sn-Fe ²⁺ ,Mn para Ti-ixiolita do pegmatito Quintos, conforme Beurlen <i>et al.</i> (2003a).....	133
Figura 8.31 – Imagem BSE obtida por MEV mostrando zonação composicional oscilatória intensa na Ti-ixiolita do pegmatito Quintos.....	134
Figura 8.32 – Quadrilátero Ta/(Ta+Nb) <i>versus</i> Mn/(Mn+Fe), de Beugnies & Mozafari (1968), para nióbio-tantalatos da PPB.....	135
Figura 8.33a a d – Perfis borda-núcleo-borda em cristais de granadas estudados.....	141
Figura 8.34 – Diagrama ternário MgOx10-FeO-MnO (Černý & Hawthorne, 1982) para as granadas estudadas.....	142
Figura 8.35 – Diagrama ternário CaOx10-FeO-MnO (Černý & Hawthorne, 1982) para as granadas estudadas.....	143
Figura 8.36 – Diagrama ternário MgO-FeO-MnO (Černý & Hawthorne, 1982) para as granadas estudadas.....	143

Figura 8.37 – Diagrama (CaO+MnO) versus (FeO+MgO) (Sokolov & Khlestov, 1984) para as granadas estudadas.....	144
Figura 8.38a e b – Perfis borda-núcleo-borda para cristais de gahnita dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos.....	150
Figura 8.39 – Diagrama ternário Zn-Fe-Mg (Batchelor & Kinnaird, 1984) para as gahnitas dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos.....	150
Figura 8.40 – Diagrama (Fe+Mg)/Al versus (Zn+Mn)/Al (Batchelor & Kinnaird, 1984) para as gahnitas dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos.....	151

CAPÍTULO III – PEGMATITOS GRANÍTICOS: REVISÃO

Tabela 3.1 – Classes de pegmatitos graníticos, segundo Černý (1991a).....	11
Tabela 3.2 – Pegmatitos graníticos portadores de elementos raros.....	12
Tabela 3.3 – Correlação entre propostas de diversos autores para estrutura interna de pegmatitos graníticos.....	16

CAPÍTULO VII – ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS

Tabela 7.1 – Dados petrográficos e microtermométricos de grupos representativos dos diferentes tipos de inclusões fluidas (IF) de pegmatitos da PPB.....	74
Tabela 7.2 – Dados Raman e propriedades globais de IF selecionadas (PPB).....	75

CAPÍTULO VIII – QUÍMICA MINERAL

Tabela 8.1 – Quadro resumo das análises químicas dos elementos maiores das micas dos pegmatitos estudados.....	83
Tabela 8.2 – Quadro resumo das análises químicas dos elementos traços das micas dos pegmatitos estudados.....	84
Tabela 8.3 – Quadro resumo das análises químicas dos elementos maiores dos feldspatos dos pegmatitos estudados.....	98
Tabela 8.4 – Quadro resumo das análises químicas dos elementos traços dos feldspatos dos pegmatitos estudados.....	99
Tabela 8.5 – Membros finais do grupo das turmalinas (Hawthorne & Henry, 1999).....	103
Tabela 8.6a e b – Comparação entre dados analíticos das turmalinas estudadas, obtidos por MSE e ICP-MS.....	106
Tabela 8.7 – Análises químicas das turmalinas não zonadas do pegmatito Boqueirão	108
Tabela 8.8 – Análises químicas das turmalinas zonadas do pegmatito Boqueirão.....	109
Tabela 8.9 – Análises químicas das turmalinas dos pegmatitos Capoeira.....	110
Tabela 8.10 – Análises químicas das turmalinas do pegmatito Quintos.....	113
Tabela 8.11 – Análises químicas dos nióbio-tantalatos estudados.....	132
Tabela 8.12 – Análises químicas das granadas dos pegmatitos estudados.....	139
Tabela 8.13 – Dados químicos médios de algumas gahnitas de pegmatitos graníticos, citados na literatura.....	146
Tabela 8.14 – Análises químicas da gahnita do pegmatito Capoeira 2.....	147
Tabela 8.15a – Análises químicas da gahnita do pegmatito Quintos.....	148
Tabela 8.15b – Análises químicas da gahnita do pegmatito Quintos.....	149

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Pegmatitos graníticos são uma importante fonte de minerais econômicos, tais como quartzo, feldspatos, caulim, micas, gemas (turmalinas, granadas, água marinha, morganita, euclásio, topázio, entre outros). São também fontes principais ou exclusivas de alguns metais raros como Ta, Li, Cs (tantalita e outros tantalatos, petalita, espodumênio, pollucita, etc.), podendo produzir também Sn, W, ETR, como subprodutos. A mineralização em metais raros está ligada ao fato de que alguns elementos pelo seu pequeno raio iônico (Be^{++} , Li^+), ou muito grande (Cs^+), ou ainda pela carga muito alta (Sn^{4+} , Nb^{5+} , Ta^{5+}), geralmente não entram na estrutura dos minerais essenciais comuns, indo concentrar-se nos sistemas residuais de diferenciação magmática, como é o caso dos pegmatitos.

A Província Pegmatítica da Borborema (PPB) é uma região de domínio de pegmatitos formados no final do ciclo Brasileiro (500-450Ma), abrangendo parte dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, com incidência de corpos mineralizados, principalmente em Ta-Nb, Be, Sn, Li. A PPB é notável desde a II Guerra Mundial por ter sido uma das maiores fornecedoras mundiais de nióbio-tantalatos e berilo para os países aliados. Tornou-se nesta época mundialmente conhecida por sua excepcional importância como fornecedora de matéria-prima estratégica.

O significado econômico atual da província decorre de sua produção de minerais industriais tais como feldspatos, caulim, micas, bem como nióbio-tantalatos e minerais gemológicos como berilo nas variedades água marinha, morganita e heliodoro, além de euclásio, manganotantalita, apatita, espessartita, gahnita e, mais recentemente a excepcional elbaíta de cor azul turquesa, conhecida internacionalmente por “turmalina Paraíba”, de qualidade gemológica inigualável. Também é responsável pela produção de numerosos minerais raros como simpsonita, alumotantita, bismutotantalita, bismutomicrolita, cesstibantita, natrotantita, parabariomicrolita, bertrandita, vários fosfatos, para muitos dos quais os pegmatitos da PPB são mencionados como local tipo de referência. A área de maior concentração destes pegmatitos mineralizados abrange os municípios de Parelhas, Equador e Carnaúba dos Dantas, no Estado do Rio Grande do Norte e os municípios paraibanos de Picuí, Pedra Lavrada, Nova Palmeira, Junco do Seridó, Juazeirinho e Frei Martinho.

Poucos trabalhos foram desenvolvidos abordando geoquímica e química mineral tentando caracterizar a fonte dos pegmatitos, condições de sua cristalização, o seu grau de especialização e a interação entre pegmatitos e suas encaixantes (Da Silva, 1993; Da Silva & Beurlen, 1997, bem como dissertações de mestrado e teses de doutorado em andamento). Eles estudaram geoquimicamente alguns pegmatitos da região e suas

encaixantes, analisando o comportamento de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , K_2O , Na_2O e utilizaram relações do tipo K/Rb, K/Cs, Al/Ga, entre outras.

Neste trabalho pretende-se desenvolver um estudo enfatizando as condições de formação (pressão, temperatura, profundidade) e evolução de pegmatitos na PPB, e relacioná-los com estudos desenvolvidos em pegmatitos bem estudados de outras partes do mundo, tais como o Tanco e Red Cross Lake (Manitoba, Canadá).

Com o auxílio de estudos geoquímicos e de química mineral, desenvolvida em feldspatos, micas, turmalinas, granada, gahnita e nióbio-tantalatos, além de estudos de inclusões fluidas, pretendeu-se:

- a) determinar a possível existência de fluidos particulares e condições de cristalização na formação das famosas elbaítas de cor “azul turquesa” da região;
- b) entender se o processo de cristalização dos pegmatitos ocorreu de acordo com o modelo proposto por Jahns & Burnham (1969) – magma saturado em H_2O e outros voláteis - ou London (1986) com magma subsaturado;
- c) classificar os pegmatitos estudados de acordo com os tipos, subtipos, famílias (NYF, LCT, misto), conforme classificação de Černý (1989a, 1991a), definindo o nível de especialização e conseqüentemente, contribuir para uma melhor avaliação do potencial metalogenético.

CAPÍTULO II- MÉTODOS DE ESTUDO E AMOSTRAGEM

2.1 – Trabalhos de Campo e Amostragem

Uma primeira etapa de campo consistiu em selecionar os pegmatitos a serem estudados, enfatizando a diversidade mineralógica e as condições para uma boa amostragem. Houve uma certa dificuldade na seleção, pois a grande maioria dos corpos pegmatíticos mineralizados não estava em atividade naquele presente momento, e nos corpos em atividade as escavações são irregulares e restritas às porções mais mineralizadas. Isto dificultou o trabalho, pois praticamente inviabilizou a coleta de amostras de boa qualidade para os estudos e o reconhecimento das unidades dos pegmatitos.

Foram selecionados para este estudo os pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos, situados no município de Parelhas, Estado do Rio Grande do Norte. O pegmatito Boqueirão está sendo atualmente garimpado para extração de nióbio-tantalatos e elbaítas róseas (rubelitas), devido principalmente aos altos preços atuais da tantalita e das elbaítas. Os trabalhos nos pegmatitos Capoeira (também conhecidos por Boqueirãozinho), na década de 90, dirigidos exclusivamente para a produção de feldspatos, foram interrompidos, sendo retomados no final desta década para a extração de elbaítas gemológicas de cor azul turquesa, lavrados atualmente pela empresa Mineração Terra Branca Ltda. O pegmatito dos Quintos está sendo lavrado atualmente pela empresa HR Mineração, para a extração de elbaítas gemológicas de cor azul turquesa.

Em cada corpo pegmatítico estudado procurou-se amostrar sistematicamente todas as suas unidades (zonas I, II, III, zona de albíta, corpos de substituição, cavidades miarolíticas).

Estudo geoquímico de pegmatitos enfrenta certa dificuldade já na obtenção de amostras representativas, tendo em vista que estas rochas têm, normalmente, granulação muito grossa. Por este motivo a amostragem utilizada para estudos de geoquímica é do tipo “chip sampling”, que consiste em retirada de numerosos fragmentos de material, pesando aproximadamente 50g cada, ao longo de seções transversais em cada zona, perfazendo uma amostra global com peso variando entre 3 a 5kg. O intervalo entre as tomadas de material foi proporcional à espessura de cada zona amostrada.

Foram também coletadas amostras individuais de cristais bem formados de granada, turmalina, nióbio-tantalatos e gahnita em várias unidades dos pegmatitos, visando fazer análises químicas, estudos petrográficos, e de inclusões fluidas.

Usou-se notação dotada de siglas (BO, CA1, CA2, CA3, QB, representando amostras dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira 1, 2 e 3 e Quintos, respectivamente) seguidas de numeração, como por exemplo BO-001.

2.2 – Trabalhos de Laboratório

As amostras primárias, destinadas a estudos de geoquímica, foram submetidas a diversas etapas de preparação que envolveu redução de tamanho (britagem, moagem), seleção (peneiramento e catação de grãos monominerálicos), lavagem e homogeneização/quarteamento, visando a obtenção de uma amostra final com unidade de massa e granulometria adequadas para análise química.

Utilizou-se os métodos de difração e fluorescência de raios-x, microsonda eletrônica, microtermometria, microespectrometria Raman a raio laser, microscopia eletrônica de varredura, ICP-MS, visando caracterizar os minerais encontrados nos pegmatitos e os fluidos que lhe deram origem.

2.2.1– Preparação de Amostras

As amostras destinadas a estudos geoquímicos (micas, feldspatos) foram inicialmente britadas e peneiradas em peneiras de 1,18mm (Tyler 14), 2,00mm (Tyler 9) e 4,75mm (Tyler 4). O material retido nas peneiras de 2,00mm e 1,18mm foi aproveitado para catação manual visando a obtenção de amostras monominerálicas puras de mica, feldspatos e turmalinas, com auxílio de lupa binocular. Este material foi então lavado com água deionizada, secado em estufa a 100°C por 2 horas, pulverizado a 300 mesh em moinho com revestimento de carbetto de tungstênio, homogeneizado e quarteado para se obter uma alíquota destinada a análise química, conforme fluxograma do processo de preparação de amostras (Figura 2.1)

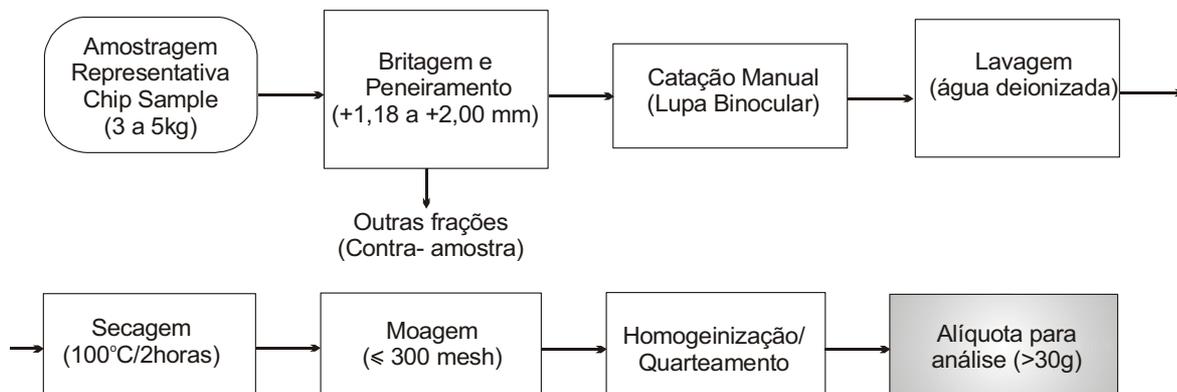


Figura 2.1 – Fluxograma do processo de preparação de amostras destinadas à análise química.

Foram confeccionadas seções delgadas e polidas de minerais como turmalina, granada, nióbio-tantalatos e gahnita em dimensões adequadas, sem lamínulas e com polimento de boa qualidade, com pasta de diamante, visando a análise química através de microsonda eletrônica e microscopia eletrônica de varredura.

O estudo de inclusões fluidas requer a fabricação de seções bipolidas. Neste trabalho produziu-se tais seções, consideradas apropriadas para estudos de microtermometria. Aplicou-se pouca pressão durante a preparação (corte, desbaste e

polimento) das seções evitando o aquecimento, fraturamento e conseqüente vazamento das inclusões fluidas mais superficiais. Amostras mais quebradiças foram imbutidas e/ou impregnadas com resina para evitar seu esfacelamento durante o processo de preparação.

2.2.2– Difração de Raios – X

No estudo de difração de raios-X (XRF) visando a identificação de minerais e o controle da pureza de feldspatos destinados a análises geoquímica utilizou-se o método do pó, técnica importante e bastante difundida.

Utilizou-se um difratômetro Rigaku Denki-XRD, equipado com monocromador de grafite pertencente ao Laboratório de Cristalografia do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE. Para a produção de difratogramas usou-se radiação $\text{Cu-K}\alpha$ (1,5418Å) produzida sob 35Kv e 20mA, com velocidades do goniômetro e do papel de 4°/min. e 20mm/min., respectivamente, sendo feita uma varredura com 2θ variando entre 10 e 52°, no estudo dos feldspatos.

2.2.3 – Análises Químicas

No decorrer do estudo efetuou-se análises químicas de várias espécies minerais encontradas nos pegmatitos Capoeira, Boqueirão e Quintos. As fases minerais estudadas foram feldspatos, mica, turmalina, granada, nióbio-tantalatos e gahnita. Algumas amostras de elbaítas analisadas foram coletadas e gentilmente cedidas pelo professor José Aderaldo de Medeiros Ferreira.

Devido à restrição do acesso ao pegmatito Quintos, imposto pela diretoria da empresa detentora dos direitos minerários, utilizou-se apenas algumas amostras coletadas anteriormente a esta resolução e também algumas amostras coletadas e gentilmente cedidas pelo professor Dr. Reinhard Richard Wegner.

A análise por microsonda eletrônica (MSE) foi desenvolvida em turmalinas, granadas, gahnita e nióbio-tantalatos, efetuadas no Laboratório de Microsonda Eletrônica do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo (USP). Utilizou-se um equipamento JEOL, modelo JXA-8600, de 5 espectrômetros (4 WDS e 1 EDS), sob condições de 15kv e 20nA, com diâmetro do feixe de 3 μm e tempo de contagem de 20, 30 e 40 segundos para elementos maiores, menores e traços, respectivamente. Os cristais analisadores utilizados foram TAP, PET e LIF, com os seguintes padrões internos:

Wollastonita ($\text{Si-K}\alpha$, $\text{Ca-K}\alpha$), TiO_2 ($\text{Ti-K}\alpha$), anortita ($\text{Al-K}\alpha$), olivina ($\text{Fe-K}\alpha$), espessartita ($\text{Mn-K}\alpha$), diopsídio ($\text{Mg-K}\alpha$), microclina ($\text{K-K}\alpha$), albita ($\text{Na-K}\alpha$), ZnO ($\text{Zn-K}\alpha$), fluorita ($\text{F-K}\alpha$), CuO ($\text{Cu-K}\alpha$), Cr_2O_3 ($\text{Cr-K}\alpha$), Y_2O_3 ($\text{Y-L}\alpha$), Nb metálico ($\text{Nb-L}\alpha$), Ta metálico ($\text{Ta-M}\alpha$), Bi metálico ($\text{Bi-M}\alpha$), CaWO_4 ($\text{W-L}\alpha$), Sn ($\text{Sn-L}\alpha$), U ($\text{U-M}\alpha$).

Também desenvolveu-se análises via microsonda eletrônica no Geoforschungszentrum Potsdam, Alemanha em alguns nióbio-tantalatos, devido uma maior

disponibilidade de padrões adequados para analisar estes minerais. Utilizou-se uma microsonda eletrônica Cameca-SX 50, sob condições de 20Kv e 40Kv, com diâmetro do feixe de 2 μ m e tempo de contagem de 20 segundos, com cristais analisadores tipo TAP, PET, LIF. Foram utilizados os seguintes padrões internos: albita, apatita (Durango), fluorita, ilmenita, ortoclásio, rutilo, cassiterita, zircão, Nb, Ta, U, Th, MgO, MnTiO₃, HfO₂, BaSO₄, CePO₄, LaPO₄, YPO₄, InSb.

O cálculo das concentrações de cada elemento químico baseia-se na comparação entre as intensidades das radiações X características emitidas pela amostra (no ponto analisado) e um padrão de referência específico para cada elemento analisado, quando a amostra é submetida a um feixe de elétrons de alta energia. As microsondas eletrônicas dispõem de rotinas que fazem a correção do efeito matriz de cada análise. Nas correções do efeito matriz, que é função da presença e abundância de cada elemento químico na amostra e no padrão, usou-se o programa PROZA, responsável pela correção ZAF (Z = correção do número atômico; A = correção de absorção; F = correção por fluorescência secundária).

Tendo em vista que a microscopia eletrônica de varredura (MEV) proporciona uma melhor visualização da zonação composicional, permitindo realizar análises semi-quantitativas em pontos melhor escolhidos que em outras análises, além de fornecer imagens e espectros utilizou-se esta técnica, principalmente no estudo dos nióbio-tantalatos. Usou-se um equipamento modelo LEO 430i (Cambridge), acoplado a um espectrômetro EDS modelo CatB (Oxford Microanalyses Group), com tensão de aceleração de 20Kv e um programa de correção ZAF, pertencente ao Laboratório de Microscopia Eletrônica do IGE/UNICAMP. Utilizou-se os seguintes padrões: Ta (Ta-M α), Nb (Nb-L α), Sn (Sn-L α), Ti (Ti-K α), V (V-K α), Sb (Sb-L α), Cu (Cu-K α), Bi (Bi-M α), Zr (Zr-L α), U (U-M α), Hf (Hf-M α), FeS₂ (S-K α), CaCO₃ (C-K α), PbF₂ (Pb-M α), BCR2 (Fe-K α , Mn-K α , Al-K α , Ca-K α , Na-K α , Si-K α , K-K α).

Os elementos Si, Al, Mg, Mn, Ca, Na, K, Ti, P, Fe, Zn, Rb, Sr, Zr, Ga, Ba presentes em micas e feldspatos foram analisados quantitativamente por fluorescência de raios-x (XRF). Utilizou-se um espectrômetro de fluorescência de raios-x marca Rigaku, RIX 3000, equipado com tubo de ródio (Rh), do NEG-LABISE, Departamento de Geologia, UFPE. O método utilizado na confecção das pastilhas para análise foi o da fusão do pó, com proporção de 5:1 de tetraborato de lítio (Li₂BO₄)/amostra. Na análise usou-se o método de curvas de calibração obtidas a partir de materiais de referência certificados.

Analisou-se quimicamente amostras de micas, feldspatos e turmalinas por ICP-MS, realizadas no Acme – Analytical Laboratories Ltd., Vancouver, Canadá, visando determinar concentrações de elementos como Nb, Ta, F, Li e Cs, não obtidos via Fluorescência de

raios-X. Utilizou-se para abertura a fusão de LiBO_2 ou água régia, com padrões DS5, DST5, SO-17, SO-17/CSB e LIB-10C3.

2.2.4 – Estudo Microtermométrico de Inclusões Fluidas

As inclusões fluidas (IF) nos pegmatitos têm uma distribuição bastante heterogênea entre diferentes minerais hospedeiros no que diz respeito a formas, frequência e dimensões. Para um estudo pormenorizado de inclusões fluidas em pegmatitos torna-se, portanto indispensável um estudo petrográfico minucioso precedendo a própria coleta e escolha de amostras para as medições microtermométricas, sempre visando a obtenção de dados em amostras de vários minerais nas diversas unidades (zonas, corpos de substituições, cavidades miarolíticas, etc.).

Para o estudo microtermométrico torna-se necessário a confecção de lâminas bipolidas com espessura variando entre 0,2 e 0,5mm. A microtermometria consiste na observação das mudanças de fases em inclusões fluidas que ocorrem durante o seu resfriamento e aquecimento. A partir de medições precisas da temperatura na qual se produzem as mudanças de fases é possível calcular as condições de P, T, V, X dos fluidos (Roedder, 1984).

Para este estudo foram selecionadas amostras de minerais das diversas unidades dos corpos pegmatíticos escolhidos. As fases minerais que se revelaram mais propícias para o estudo foram quartzo (principalmente cristais idiomórficos), berilo, apatita, turmalina, manganotantalita, euclásio e granada.

As medições microtermométricas foram realizadas em uma platina de aquecimento/resfriamento tipo USGS – Fluid Inc. do Laboratório de Inclusões Fluidas do Departamento de Engenharia de Minas da UFPE, que permite uma precisão de $\pm 0,2^\circ\text{C}$ para temperaturas de fusão do clatrato e do CO_2 , $\pm 0,1^\circ\text{C}$ para temperaturas de fusão do gelo e de homogeneização parcial do CO_2 e $\pm 1,0^\circ\text{C}$ para temperatura de homogeneização total.

Foram efetuadas medições microtermométricas tais como temperatura do ponto eutético (TE), temperatura de fusão final do gelo ($T_{f_{\text{gelo}}}$), temperatura de fusão final do CO_2 ($T_{f_{\text{CO}_2}}$), temperatura de fusão do hidrato ($T_{f_{\text{hd}}}$), temperatura de fusão do clatrato ($T_{f_{\text{chal}}}$), temperatura de homogeneização parcial do CO_2 ($T_{h_{\text{CO}_2}}$) e temperatura de homogeneização total (T_{hom}), em inclusões aquosas ou aquocarbônicas. Normalmente cada medição é repetida três vezes e é realizada no sentido do desaparecimento da fase durante o aquecimento, devido à resistência metaestável para a nucleação da maioria das fases.

Na interpretação dos dados microtermométricos desenvolveu-se inicialmente uma avaliação estatística básica dos valores medidos (média, maior valor, menor valor, desvio padrão e número de dados), usando-se o software EXCEL 2000, visando caracterizar as populações de inclusões, confirmando a sua pertinência aos tipos pré-estabelecidos petrograficamente. Visando facilitar as interpretações dos dados obtidos produziu-se

diagramas do tipo salinidade *versus* temperatura de homogeneização, utilizando-se o software STATISTICA, versão 5.0.

No cálculo das propriedades isocóricas dos fluidos, efetuados após a avaliação estatística, usou-se o programa MAC FLINCOR (Brown & Hagemann, 1994), utilizando-se as equações de Brown & Lamb (1989), no cálculo das inclusões aquosas, e Bowers & Helgesson (1983) para as inclusões aquocarbônicas. Determinou-se assim o gradiente P-T ao longo do qual a inclusão fluida foi aprisionada e sua composição. A representação gráfica das isócoras foi desenvolvida com o auxílio do programa STATISTICA 5.0. Para o cálculo das salinidades foram utilizadas as equações de Diamond (1992) e Bodnar (1993) através de uma planilha desenvolvida no Excel 2000.

2.2.5- Microespectrometria Raman de Inclusões Fluidas

A microespectrometria Raman a raio Laser é um método não destrutivo que permite analisar quantitativamente a composição de voláteis gasosos, tais como CO₂, N₂, CH₄, entre outros, contidos em inclusões fluidas individuais, produzindo espectros característicos que permitem sua quantificação.

Análises de fases carbônicas de inclusões fluidas selecionadas de minerais dos pegmatitos Capoeira 1 e Boqueirão foram feitas em um espectrômetro Raman a Raio Laser Jobin Yvon T 64000, com irradiação de Ar ionizado, linha espectral de 514nm, do Instituto de Geociências (IGE) da UNICAMP.

Utilizou-se um tempo de integração de 300 segundos para cada medição, que foram realizadas a temperaturas de 32°C (acima da temperatura de homogeneização da fase carbônica). Os dados quantitativos foram calculados a partir das relações de áreas das seções transversais e posição dos picos do espectro Raman, de acordo com o modelo estabelecido por Dubessy *et al.* (1989).

A microespectrometria Raman a raio Laser foi também utilizada para a identificação de inclusões acidentais e cristais de saturação em IF quando inviável através do MEV.

CAPÍTULO III - PEGMATITOS GRANÍTICOS: REVISÃO

3.1 – Definições

O termo pegmatito foi proposto inicialmente pelo mineralogista francês Haüy no início do século XIX para designar o que atualmente se conhece por granito gráfico (Jahns, 1955), ou seja, intercrescimento geométrico cuneiforme epitaxial entre quartzo e feldspato. Tinha, portanto uma conotação textural. Posteriormente o vocábulo tornou-se mais abrangente, incluindo rochas de granulometria muito grosseira, onde o granito gráfico constitui uma parte delas.

No século XX vários pesquisadores desenvolveram teorias sobre a formação e evolução de pegmatitos, tais como Fersman (1931), Landes (1933), Jonhston Jr. (1945a, 1945b), Cameron *et al.* (1949), Vlasov (1952), Jahns (1955), Solodov (1959), Ginzburg (1960), Ginzburg *et al.* (1979), London (1992), Černý (1982a, 1991a).

Fersman (1931) considerava que a formação de corpos pegmatíticos se processava a partir da cristalização de fusões residuais, com sucessivas cristalizações e, em um estágio tardio, através de processos metassomáticos.

Landes (1933) definiu pegmatito como uma rocha holocristalina, intrusiva, constituída essencialmente de minerais formadores de rochas, cujos grãos individuais são maiores que os grãos dos mesmos minerais que ocorrem em rochas plutônicas equivalentes.

Jahns (1955) fornece a seguinte definição sobre pegmatitos: são rochas holocristalinas, pelo menos em parte, de granulometria muito grosseira, e cujos constituintes mais importantes incluem minerais típicos de rochas ígneas comuns.

Com exceção da definição de Fersman (1931), as demais definições são essencialmente texturais e mineralógicas. Não levam em consideração algumas das características básicas dos pegmatitos graníticos, tais como zoneamento e evolução textural e química.

Segundo London (1996) pegmatitos graníticos são caracterizados pela presença de fases minerais de tamanho extremamente grande (que o distinguem das demais rochas intrusivas como granito, diorito, etc.), pela heterogeneidade, incluindo abrupta variação no tamanho do grão ou na mineralogia, anisotropia de fábrica e uma extensa gama de morfologia de cristais (esqueletal, gráfica, eudral), podendo ser gerado por magmas de todas composições.

3.2 – Classificações

Na impossibilidade de citar todas as classificações propostas para pegmatitos graníticos (que são muitas), procurou-se citar algumas mais conhecidas:

Fersman (1931) ressaltou o efeito da contaminação como fundamental na distinção de classes de pegmatitos. Ele classificou os pegmatitos em:

- a) Pegmatitos de Linha Pura – pegmatitos não contaminados pela encaixante.
- b) Pegmatitos de Contato – pegmatitos que contêm minerais indicativos de assimilação das rochas encaixantes.
- c) Pegmatitos de Linha Cruzada – pegmatitos de composição diferente dos pegmatitos de composição granítica devido à extensiva reação com as rochas encaixantes.

Solodov (1959) utilizando critérios químicos e mineralógicos dividiu os pegmatitos graníticos em quatro tipos, de acordo com a predominância de alguns minerais formadores de rocha, estabelecendo seus elementos químicos característicos:

Tipo I – pegmatitos a microclínio – K, Be;

Tipo II – pegmatitos a albita-microclina - K, Na, Ta, Be, Cs, Rb, Tl, Li;

Tipo III – pegmatitos a albita – Na, Li, Be, Ta, Nb, Sn;

Tipo IV – pegmatitos a albita – espodumênio – Na, Li, com esporádico Nb e Sn.

Černý (1982a, 1991a) baseando-se em trabalhos de autores soviéticos, principalmente Ginzburg (1960) e Ginzburg *et al.* (1979) propôs uma classificação para os diversos tipos de pegmatitos graníticos, a partir da profundidade de alojamento, mineralogia e intensidade de metamorfismo das rochas encaixantes, conforme exibida na Tabela 3.1.

Černý (1989a; 1991a) dividiu os pegmatitos portadores de elementos raros em tipos e subtipos, a partir do domínio de certos minerais e da assinatura geoquímica. Posteriormente, Novák & Povondra (1995) definiram o subtipo elbaíta (Tabela 3.2).

Dentro dessa classificação, Černý (1991a), na classe de pegmatitos de elementos raros e miarolíticos, identificou três famílias, de acordo com a afinidade dos pegmatitos por determinados elementos químicos: LCT, NYF e misto, conforme descrito a seguir.

A família LCT forma um grupo de pegmatitos de elementos raros caracterizados pela tendência de acumular álcalis raros (Li, Cs) e tântalo (Ta). Os pegmatitos ou os granitos parentais são de caráter peraluminoso. Os seguintes elementos são típicos:

(a) Substanciais: O, Si, Al, K, Na, Li;

(b) Subordinados: Rb, Cs, Ca, Fe, Mn, Mg, F, B, P;

(c) Menores: Be, Sn, Ba, Sr, Nb, Ta, Ti, Zr, Hf;

(d) Traços: Y, ETR, Ga, W, Sc, C, S, Zn, As, Cu, Pb, Cd, Tl, Ge, Mo, Sb, Bi.

Černý (1991a) enfatiza que seqüências de metapelitos e metaturbiditos são os possíveis protólitos que geram suítes LCT.

A família NYF forma um grupo de pegmatitos de elementos raros ou miarolíticos, caracterizados pela tendência de acumular nióbio (Nb), ítrio (Y) + ETR e flúor (F). São de caráter subaluminosos a metaluminosos. A anatexia de litologias de fácies granulito parece

ser o mais provável processo de geração de suítes NYF (Černý, 1991a). Os seguintes elementos são típicos:

Tabela 3.1: Classes de pegmatitos graníticos, segundo Černý (1991a).

Classe	Família	Elementos menores Típicos/Mineralizações	Ambiente metamórfico e Condições de Formação	Relações com granitos
Abissal	---	U, Th, Zr, Nb, Ti, Y, ETR, Mo. Pobre a moderada mineralização	Fácies granulito baixa a alta P (a anfibolito alto) ~4–9kb, ~700-800°C	nenhuma; segregação de leucossoma anatético
Muscovítico	---	Li, Be, Y, ETR, Ti, U, Th, Nb>Ta. Pobre a moderada mineralização; micas e minerais cerâmicos	Fácies anfibolito Barrowiano, alta P (cianita-sillimanita) ~5–8Kb, ~650-580°C	nenhuma; corpos anatéticos ou marginais e exterior
Elementos raros	LCT	Li, Rb, Cs, Be, Ga, Sn, Hf, Nb \geq Ta, B, P, F. Pobre a abundante mineralização; minerais -gemas e minerais industriais	Fácies anfibolito, baixa P, Abukuma a alto xisto verde ~ 2-4kb, ~650-500°C	interior a marginal a exterior
	NYF	Y, ETR, Ti, U, Th, Zr, Nb>Ta, F. Pobre a abundante mineralização; minerais cerâmicos	variável	interior a marginal
Miarolíticos	NYF	Be, Y, ETR, Ti, U, Th, Zr, Nb>Ta, F pobre mineralização, minerais-gemas	raso a subvulcânico ~ 1-2kb	Interior a marginal

(a) Substanciais: O, Si, Al, K, Na;

(b) Subordinados: Ca, Fe, Mg, F, Rb, Ba, Li;

(c) Menores: Sr, Mn, Y, ETR, Cl, Be, Ba, Ti, Th, U, Zr, Nb, Ta, B, P, Cs, Hf;

(d) Traços: Sc, W, Zn, Ga, C, S, Mo, As, Bi.

Černý (op. cit.) definiu ainda pegmatitos mistos que são híbridos entre LCT e NYF. São subaluminosos a levemente peraluminosos, podendo englobar em sua mineralogia minerais típicos da família LCT e da família NYF.

Wise (1999) classifica os pegmatitos tipo NYF, de acordo com sua afiliação granítica, em peralcalinos, metaluminosos e peraluminosos.

Posteriormente Hanson *et al.* (1999), estudando pegmatitos do Colorado e Wisconsin, denotaram por NY os pegmatitos da família NYF empobrecidos em flúor (F).

Zagorsky *et al.* (1999) propuseram uma classificação para pegmatitos graníticos baseados em pressão de cristalização, assim definidos:

(a) Pegmatitos de baixa pressão; (b) Pegmatitos de moderada pressão; (c) Pegmatitos de alta pressão.

Tabela 3.2: Pegmatitos graníticos portadores de elementos raros

Pegmatito Tipo (Conteúdo relativo de micas e feldspatos)	Subtipo Assinatura Geoquímica	Minerais Típicos	Família
Terras Raras (kf>pl; bi>ms)	<i>Allanita-Monazita</i> ETR(L),U,Th (P,Be,Nb>Ta)	allanita, monazita	NYF
	<i>Gadolinita</i> Y,ETR(P),Be,Nb>Ta,F,(U,Th,Ti,Zr)	gadolinita, fergusonita, euxenita, (topázio, berilo)	
Berilo (kf>ab;ms>bi)	<i>Berilo-columbita</i> Be,Nb>Ta(±Sn, B)	berilo, columbita- tantalita	LCT
	<i>Berilo-columbita-fosfato</i> Be,Nb>Ta, P, (Li,F±Sn, B)	berilo, columbita- tantalita, triplita, trifilita	
Complexo (kf≥ab;ms≥lep)	<i>Espodumênio</i> Li,Rb,Cs,Be,Ta>Nb, (Sn, P,F±B)	espodumênio, berilo, tantalita (ambligonita, lepidolita, pollucita)	LCT
	<i>Petalita</i> Li,Rb,Cs,Be,Ta>Nb,(Sn,Ga,P,F,±B)	petalita, berilo, tantalita (ambligonita, lepidolita)	
	<i>Lepidolita</i> F,Li,Rb,Cs,Be,Ta>Nb,(Sn,P,±B)	lepidolita, topázio, berilo, microlita, (pollucita)	
	<i>Ambligonita</i> P,F,Li,Rb,Cs,Be,Ta>Nb, (Sn,±B)	ambligonita, berilo, tantalita, (lepidolita, pollucita)	
	<i>Elbaita*</i> Li,B, (Rb,Cs), Ta>Nb, Sn, P	elbaita, schorlita, datolita, hambergita, danburita, (berilo, boromuscovita)	
Albita-Espodumênio (ab>kf;ms)	Li,(Sn,Be, Ta>Nb ±B)	espodumênio, (cassiterita, berilo, tantalita)	LCT
Albita	Ta>Nb,Be, (Li,±Sn,B)	tantalita, berilo, (cassiterita)	LCT

*subtipo definido por Novák & Povondra (1995); os demais subtipos foram definidos por Černý (1989a).ab=albita;kf=K-feldspato;pl=plagioclásio; ms=muscovita;bi=biotita; ETR(L) e ETR(P) são respectivamente elementos de terras raras leves e pesados.

Existe uma correspondência notável entre as classificações de Zagorsky *et al.* (1999) e Černý (1991a). Os pegmatitos de baixa, moderada e alta pressão correspondem respectivamente a miarolíticos/elementos raros, elementos raros e muscovíticos/abissais.

A classificação de Černý (1989a; 1991a) atualmente é a mais utilizada de todas as classificações, pois engloba pressão, temperatura, ambiente metamórfico e relações dos pegmatitos com os granitos que os originaram.

3.3– Morfologia e Estrutura Interna

A morfologia dos pegmatitos é muito variável e reflete muitos condicionantes geológicos, tais como: profundidade de posicionamento, propriedades mecânicas das rochas encaixantes, relação entre a pressão litostática e a pressão interna do magma, regime tectônico e metamórfico no momento do alojamento (Cameron *et al.*, 1949; Černý, 1991a, 1991b) e volume de material pegmatítico posicionado nas estruturas das rochas encaixantes (Correia Neves, 1981).

As formas mais comuns dos pegmatitos são tabulares, embora outras formas como lenticulares, elipsoidais, ramificados, bulbosos ou massas irregulares possam ser encontrados (Correia Neves, 1981). De acordo com Cameron *et al.* (1949) a forma de muitos pegmatitos está ligada diretamente ao tipo de rocha encaixante. Pegmatitos encaixados em granitos parentais formam bolsões ou “schlieren” que cristalizam das fusões residuais *in situ*. Ainda, segundo o mesmo autor, os pegmatitos portadores de elementos raros estão encaixados preferencialmente em micaxistos e gnaisses, apresentando formas variadas, desde elipsoidais até lenticulares. Em rochas mais competentes como quartzitos, os pegmatitos posicionam-se ao longo de fraturas, geralmente mostrando formas tabulares.

Os corpos pegmatíticos apresentam dimensões muito diferentes, variando desde alguns centímetros até quilômetros no comprimento e de alguns centímetros até centenas de metros na espessura. Os maiores pegmatitos conhecidos encontram-se nos campos pegmatíticos russos onde chegam a atingir alguns quilômetros quadrados de área em afloramento, conforme Černý (1982a). Entre os pegmatitos de elementos raros Černý (op. cit.) destaca alguns grandes corpos, como o pegmatito Bikita (Zimbabue), com cerca de 1,8 a 2,1km de comprimento por 300m de largura; pegmatito Manono (Zaire) que chega a atingir 14km de extensão com 200 a 700m de largura, constituído por uma série de diques paralelos; Greenbushes (Austrália) que alcança 3,3km de comprimento, com larguras variando entre 10 e 230m, em afloramento.

Uma das características mais marcantes dos pegmatitos heterogêneos é a presença freqüente de um zoneamento interno (mineralógico e/ou textural) que, às vezes, pode ser mascarado por substituições tardias ao longo da evolução pegmatítica.

Johnston Jr. (1945a, 1945b) estudando os pegmatitos do Rio Grande do Norte e Paraíba, classificou-os, de acordo com a estrutura interna, em homogêneos e heterogêneos, designando-os por “diques homogêneos” e “diques heterogêneos”. Estudou também o zoneamento dos pegmatitos heterogêneos, propondo um modelo clássico de zoneamento, com quatro zonas, conforme mostrado adiante, na Tabela 3.3.

Cameron *et al.* (1949), a partir de critérios texturais e mineralógicos, definiram as unidades encontradas em um corpo pegmatítico, sistematizando em três tipos básicos, assim definidos e mostrados na Figura 3.1.

- (a) Zonas – representadas por capas sucessivas, completas ou não, refletindo, em grau variável, a forma e estrutura de um corpo pegmatítico.
- (b) Preenchimento de Fraturas – representam unidades geralmente tabulares, preenchendo fraturas em pegmatitos previamente consolidados;
- (c) Corpos de Substituição – são unidades formadas por substituições localizadas em pegmatitos preexistentes, com ou sem controle estrutural. Ocorrem normalmente no contato da zona intermediária com o núcleo de quartzo. Os corpos de substituição podem ser produtos de solução derivada de outra parte do mesmo pegmatito ou de solução derivada de fonte externa ao pegmatito.

Cameron *et al.* (1949) propuseram um zoneamento primário semelhante ao proposto por Johnston Jr. (op. cit.), cabendo entretanto aos primeiros autores o mérito da generalização da estrutura zonada em pegmatitos graníticos. De acordo com o Cameron *et al.* (1949), as unidades (zonas) podem ser assim descritas:

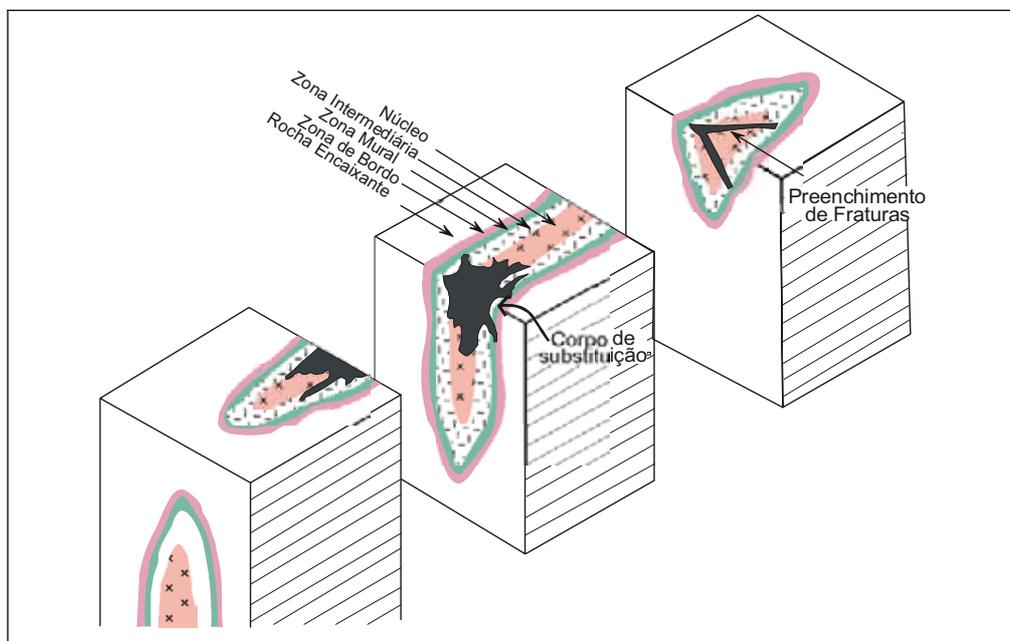


Figura 3.1- Bloco diagrama mostrando relações entre unidades estruturais em pegmatitos, segundo Cameron *et al.* (1949).

- Zona de bordo, zona mais externa de um pegmatito, geralmente de granulação fina, situada nos limites do corpo com a rocha encaixante. Sua espessura é pequena, dificilmente ultrapassando um metro, com textura tipicamente aplítica.
- Zona mural, geralmente de granulação média. Em pegmatitos destituídos de zona de bordo, esta unidade encontra-se em contato direto com a rocha encaixante.
- Zona intermediária, típica zona de pegmatito, com cristais gigantes de feldspatos ou outros minerais e mineralogia muito variada. Outros autores dividem esta zona em subzonas, tais como zona intermediária interna, externa e central. É a zona mais importante economicamente dentro de um pegmatito heterogêneo. Nela normalmente ocorrem as

maiores concentrações de minerais como berilo, nióbio-tantalatos, espodumênio, albita, turmalinas, fosfatos e minerais de Li.

- Núcleo, geralmente constituído de quartzo e pouco rico em minerais, podendo conter fases minerais como berilo, nióbio-tantalatos, micas, turmalinas e albita. A composição mineral e a textura dos núcleos variam de pegmatito para pegmatito ou de distrito para distrito. Seu tamanho depende do tamanho do próprio pegmatito e da espessura das zonas intermediária e mural. Os núcleos dos pegmatitos na maioria das vezes são descontínuos.

As alterações hidrotermais e os produtos de alterações supergênicas que se sobrepõem às unidades primárias são controladas principalmente por condições estruturais, no primeiro caso, e pelo tipo de exposição superficial, no segundo caso.

Vlasov (1952) desenvolveu um modelo de estruturação interna dos pegmatitos associando-o ao grau de evolução dos mesmos e à possibilidade de variação interna em um mesmo corpo, conforme mostrado na Figura 3.2, onde ocorrem um zoneamento primário clássico e uma porção mascarada por um metassomatismo, em um estágio mais avançado.

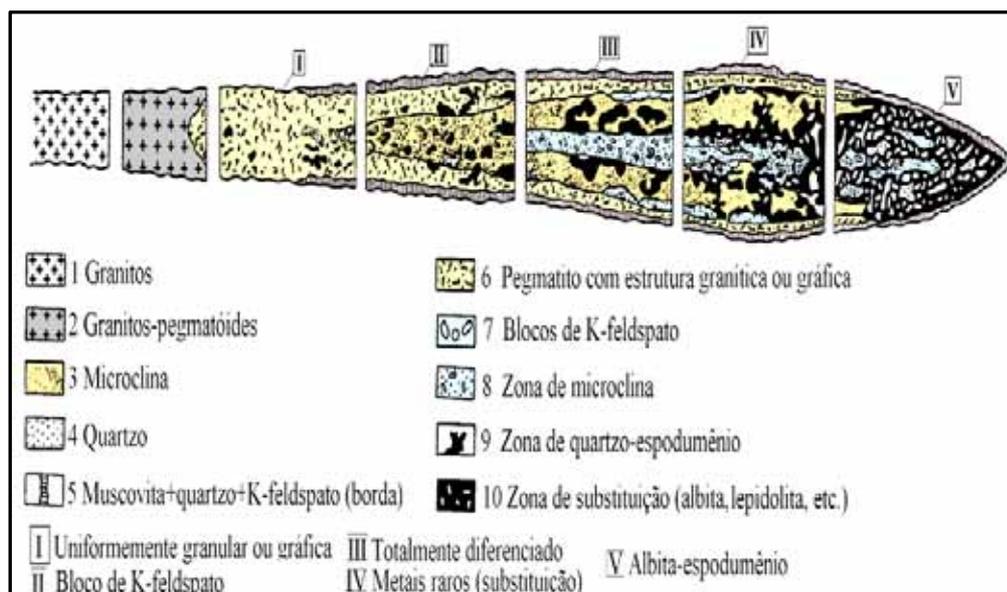


Figura 3.2- Esquema textural-paragenético e zoneamento de pegmatitos, segundo Vlasov (1952), in Milovsky & Kononov (1985)

Na Tabela 3.3 mostra-se uma correlação existente entre as diferentes propostas para estrutura interna de pegmatitos segundo alguns autores, onde se observa uma subdivisão da zona intermediária sugerida por Cameron *et al.* (1949). Conforme Crouse & Černý (1972), não mostrado nesta tabela, a zona intermediária do pegmatito Tanco pode ser subdividida em superior, inferior e central, e ainda unidades tardias nelas inseridas. Estas subdivisões levam em consideração a mineralogia, textura e o comportamento espacial do pegmatito.

O modelo proposto por Cameron *et al.* (1949) tem suas limitações, pois não é aplicável à totalidade dos pegmatitos. Pegmatitos muito diferenciados, com muitas unidades de substituição podem fugir a esta regra, porém normalmente conservam algumas de suas unidades primárias. A presença de cavidades que expõem belos exemplares de berilos, turmalinas e tantos outros minerais, não são considerados aqui.

Tabela 3.3 – Correlação entre propostas de diversos autores para estrutura interna de pegmatitos graníticos.

CORRELAÇÕES ENTRE ESTRUTURA INTERNA DE PEGMATITOS			
Johnston Jr. (1945a)	Cameron <i>et al.</i> (1949)	Beus (1960)	Walker <i>et al.</i> (1986)
---	---	Zona de granito pegmatóide <i>qz-mic-plag</i>	---
Zona I <i>ms-qz-mic-tur-gr-cas</i>	Zona de bordo <i>fsp-qz-mus-tur-be-gr-ap</i>	Zona de aplito <i>qz-mic-plag</i>	---
Zona II <i>ms-qz-mic-bio-tur-gr</i>	Zona mural <i>plag-pt-qz-ms-tur-gr-be-bio</i>	Zona de pegmatito gráfico <i>qz-plag-kf</i>	Zona mural: <i>ms-qz-alb</i>
		Zona de granulação média a grosseira <i>qz-mic-pt</i>	
Zona III <i>mic-alb-qz-sp-be-ta-tur</i>	Zona intermediária <i>pt-plag-ms-bio</i>	Zona de pequenos blocos: <i>qz-mic-pt-plag</i>	1ª zona intermediária: <i>pt-qz-ms-alb</i>
		Zona de blocos de microclina: <i>mic-plag</i>	2ª zona intermediária: <i>pt-qz-alb-ms</i>
			3ª zona intermediária: <i>alb-qz-sp-ms</i>
Zona IV <i>qz-be-alb-tur</i>	Núcleo: <i>qz-sp-alb-lp-plag-pt</i>	Unidade quartzo/espodumênio <i>qz-sp-alb</i>	Núcleo <i>qz-sp-ms-alb-ber</i>
		Zona de blocos de quartzo <i>qz-mic</i>	
Albitização <i>alb-ms</i>	Corpos de Substituição: <i>alb-ms</i>	Substituição à muscovita <i>ms-qz-alb</i>	---
		Substituição à albita <i>alb-qz-mic</i>	
		Substituição à lepidolita <i>lp-alb-qz</i>	
---	Preenchimento de fraturas	---	---
---	---	Greisen: <i>qz-ms-alb</i>	---

mic = microclina; *ms* = muscovita; *qz* = quartzo; *tur* = turmalina; *gr* = granada; *alb* = albita; *sp* = espodumênio; *be* = berilo; *bio* = biotita; *cas* = cassiterita; *fsp* = feldspatos; *ap* = apatita; *plag* = plagioclásio; *pt* = pertita; *lp* = lepidolita; *kf* = K-feldspato.

3.4 – Mineralogia e Composição Química

Geralmente os pegmatitos graníticos enriquecidos em elementos raros ocorrem intimamente associados às intrusões graníticas. De uma maneira geral os corpos pegmatíticos se caracterizam pela mesma mineralogia básica: feldspatos alcalinos e sódicos, quartzo e micas claras.

Centenas de minerais podem ocorrer como acessórios dos pegmatitos, alguns dos quais tipicamente pegmatíticos, tais como berilo (nas variedades água marinha, heliodoro, morganita, goshenita, etc.), espodumênio, pollucita, eucryptita, petalita, entre outros. Mostram grandes variações em seu quimismo de região para região, e mesmo dentro de uma mesma província ou dentro de um único pegmatito. Essas variações ocorrem principalmente devido à presença de corpos intrusivos de natureza diferente, da profundidade de alojamento e do tipo de rocha encaixante. Pegmatitos muito fracionados podem conter, individualmente, mais de uma centena de minerais (Černý, 1991a).

Em termos de classes minerais, silicatos (inclusive aluminossilicatos, berilosilicatos e borossilicatos), fosfatos e óxidos dominam sobre os outros minerais (Černý, 1982a).

Não se verificam, em geral, evidências de metassomatismo em grande escala nas rochas encaixantes. Quando, porém, pegmatitos ricos em lítio, como o de Tanco (Canadá), estão encaixados em rochas metamórficas ricas em anfibólio, e devido às semelhanças cristal químicas entre Mg^{++} e Li^+ , pode se formar em torno do pegmatito e na encaixante um anfibólio de lítio, chamado holmquistita (Correia Neves, 1990).

De acordo com Černý (1982a), os seguintes elementos químicos são típicos dos pegmatitos, agrupados em ordem decrescente de concentração:

- (1) O, Si, Al, K, Na, Ca, Li;
- (2) Rb, Cs, Ba, Mg, Fe, B, F, P;
- (3) Sr, Mn, Be, Sn, Ti, Zr-Hf, Nb-Ta, Y, ETR, U, Th, Cl, C;
- (4) Sc, Mo, W, Bi, As, Sb, Zn, Cd, Cu, Pb, Ti, Ga, Ge.

Os pegmatitos NYF são constituídos predominantemente de K-feldspato, quartzo, plagioclásio, biotita além de gadolinita, fergusonita, entre outros. As fases minerais acessórias típicas incluem granada, anfibólio, óxidos de Fe, fosfatos de ETR, óxidos, silicatos. Óxidos de Nb-Ta-Sn, berilo, topázio e turmalina estão presentes em quantidades diminutas (Brown, 1999).

Nos pegmatitos da família LCT, fases minerais como berilo, turmalinas, espodumênio, fosfatos de Ca, Na, Li, Fe, Mn e Mg são comuns (Černý, 1991a).

3.5– Geoquímica e Zoneamento Regional

Ginzburg (1960) caracterizou vários estágios geoquímicos (Ca-Na, K, Li, Na, K tardio, Li-K tardio) de evolução do processo pegmatítico e mostrou que a evolução geoquímica é caracterizada pela variação da quantidade relativa de álcalis nos diversos estágios. Também discutiu o caráter de interação dos pegmatitos com a rocha encaixante, destacando fatores como intervalo de profundidade de formação, enriquecimento em voláteis e intensidade de processos metassomáticos tardios.

Segundo vários autores, informações sobre a evolução de fusões pegmatíticas podem ser obtidas através de razões catiônicas de minerais tidos como indicadores petrogenéticos, tais como micas, feldspatos, granadas, turmalinas, nióbio-tantalatos, berilo e gahnita, entre outros. Elas são extremamente úteis para a compreensão da origem e evolução do sistema granito-pegmatito permitindo um diagnóstico preliminar do potencial dos pegmatitos em minerais de interesse econômico de Ta, Nb, Li, Cs, etc., sem, no entanto, se constituir como guia infalível de exploração mineira (Ginzburg, 1955; Smeds, 1992; Cerny, 1989a e 1989b).

De acordo com Černý (1991a), em geral o fracionamento em pegmatitos graníticos de elementos raros segue a mesma tendência observada em granitos, alcançando valores muito baixos em razões catiônicas nas fases finais do fracionamento tais como, K/Rb (1,9 em K-feldspato e 1,4 em micas), K/Tl (320 em lepidolita), Rb/Tl (60 em pollucita), Ba/Rb (<0,000x em K-feldspato), Sr/Rb (0,000x em K-feldspato), Rb/Cs (6,5 em k-feldspato e 4,4 em micas), Nb/Ta (<0,005 em microlita e simpsonita), Th/U (0,02 em microlita), Zr/Hf (0,014 em háfnio), Al/Ga (239 em micas), Si/Ge (540 em topázio) e Zn/Cd (0,7 em hawleyíta e cernita).

Relações numéricas de importantes elementos traço tais como Nb/Ta, Zr/Hf, em nióbio-tantalatos e zircão, também variam dentro de campos pegmatíticos, de acordo com a distância à fonte e grau evolutivo ou de fracionamento (Černý, 1982a). A observação de fracionamento extensivo também é típico no interior de um corpo pegmatítico individual. Por exemplo, K/Rb em K-feldspato varia entre 380 a 51 da zona de bordo para as bordas do núcleo de pegmatitos mais simples e de 14 a 3,6 em corpos mais evoluídos. A razão Nb/Ta em tantalita-columbita pode variar de 6 a 5 em zonas intermediárias até 0,3 a 0,2 em unidades albíticas (Černý, 1991a).

Algumas associações minerais podem ser indicativas do grau de evolução das fusões que geraram os pegmatitos. Assim, por exemplo, silicatos ferromagnesianos pobres em Mn e minerais de Ti são característicos de pegmatitos geoquimicamente pouco evoluídos. Minerais ricos em Mn e pobres em Mg e Fe, bem como silicatos de Li e Cs são indicativos de magmas altamente fracionados. Černý & Ercit (1985) observaram que a diversidade da mineralogia de minerais de Nb e Ta cresce com o fracionamento dos pegmatitos. Em geral, com o

fracionamento, há um incremento de Mn e Ta e um decréscimo de Fe e Nb em minerais de Nb-Ta.

A viscosidade das fusões pegmatíticas diminui com o aumento do conteúdo de H₂O, F, P, B, Li, Rb, Cs e Be, de modo que as porções mais evoluídas são as mais móveis e, portanto posicionam-se mais longe do granito parental (Černý, 1982a). Esse comportamento leva a um zoneamento regional dos pegmatitos, mostrada por Heinrich (1953) e esquematizada por Černý (1991b), de acordo com a Figura 3.3, similar ao modelo proposto por Varlamoff (1960), a partir de resultados de estudos em pegmatitos da África.

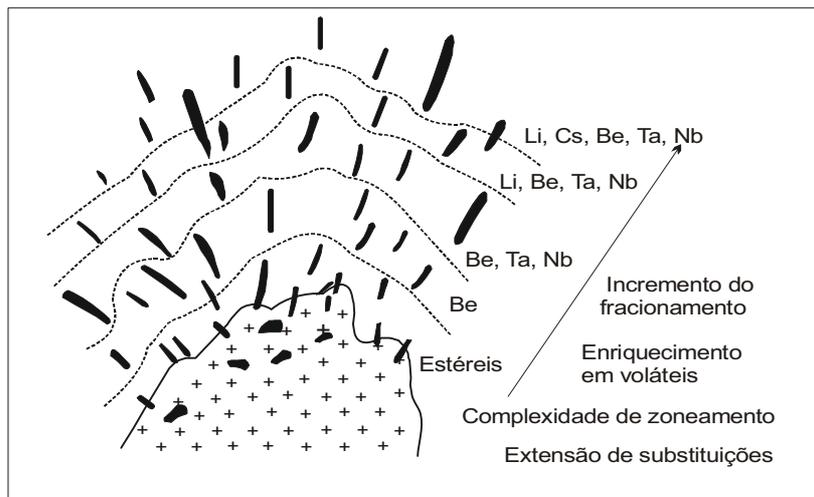


Figura 3.3- Representação esquemática de zoneamento regional de pegmatitos (Černý, 1991b).

3.6– Petrogênese

O processo de formação de pegmatitos, segundo Černý (1991b), pode ocorrer através de 4 mecanismos principais:

- Cristalização em uma câmara essencialmente fechada, em um sistema restrito ou fechado;
- Cristalização a partir de fusões residuais em vários pulsos;
- Recristalização e/ou metassomatismo de material não-pegmatítico;
- Combinação de um ou mais dos mecanismos citados anteriormente.

A transição entre os regimes magmático e hidrotermal em sistemas granítico-pegmatíticos (London, 1986), relações petrogenéticas entre granitos e pegmatitos, relações entre os próprios pegmatitos e processos que dão origem a magmas graníticos mais diferenciados, têm levado à proposição de vários modelos genéticos (Jahns & Burnham, 1969; Norton, 1981; Shmakin, 1983; Černý & Meintzer, 1988, Shearer *et al*, 1992, entre outros).

Um aspecto muito polêmico na petrogênese de pegmatitos é a influência da presença de voláteis. Jahns & Burnham (1969) propuseram um modelo de gênese de pegmatitos, em

um sistema essencialmente fechado, considerando a existência de uma fase volátil predominantemente aquosa, coexistindo com fusões saturadas em água. Estabeleceram a seguinte seqüência de eventos:

- a) Estágio magmático, onde no transcurso da cristalização há um aumento progressivo na concentração de componentes voláteis dissolvidos, produzindo uma rocha de textura fanerítica normal;
- b) Estágio tipicamente pegmatítico, caracterizado pela individualização de fluido aquoso, coexistindo com a fusão residual silicatada e cristais, desenvolvendo uma rocha de textura grosseira (pegmatítica), aplítica, ou combinação de ambas. A existência da fase volátil como concentradora de elementos raros e seu transporte para zonas preferenciais dos pegmatitos é responsável pela geração de megacristais e concentração localizada destes elementos;
- c) Estágio tardi-pegmatítico, caracterizado por uma cristalização na ausência de fusão silicatada, produzindo grande variedade de produtos tardios;
- d) Estágio supergênico, caracterizado pela alteração dos minerais a temperaturas muito baixas.

Burnham & Nekvasil (1986) propuseram modelo semelhante ao de Jahns & Burnham (1969), baseado na coexistência de fase aquosa (vapor) com fusão silicatada. Sugeriram que forte convecção na fusão pegmatítica (com vapor) pode auxiliar na segregação de componentes por deposição seletiva. Questiona a origem magmática de núcleos de quartzo, sugerindo que 60% da sílica nesses núcleos seriam de origem hidrotermal.

London *et al.* (1989) desenvolveram estudos experimentais com vidro riolítico natural (macusani) de composição haplogranítica (semelhante à pegmatítica), concluindo que, para a formação de textura pegmatítica não seria necessário a saturação em água. London (1986) destaca o papel de P, B e F, conjuntamente com os álcalis e água, que diminuem as temperaturas do *solidus* e *liquidus* e incrementam a miscibilidade da água em fusões silicatadas. A baixa viscosidade destes magmas estáveis até aproximadamente 450° e uma difusão iônica mais rápida aliada a efeitos da cristalização cinética, favoreceria a formação localizada de grandes cristais de feldspato e minerais de elementos raros (London 1990, 1992).

Pressões e temperaturas em que pegmatitos graníticos se cristalizam são difíceis de se estabelecer. O uso de geotermômetros tais como óxidos de Fe e Ti e feldspatos alcalinos são complicados pela quase completa exsolução ou por extensiva solução sólida. Em pegmatitos graníticos de elementos raros, o grupo de aluminossilicatos de Li oferecem condições ideais para a avaliação das condições P-T de formação dos pegmatitos. Este grupo é constituído por petalita ($\text{LiAlSi}_4\text{O}_{10}$), espodumênio ($\alpha\text{-LiAlSi}_2\text{O}_6$) e eucryptita ($\alpha\text{-LiAlSiO}_4$). São todos minerais relativamente comuns em pegmatitos e suas relações de

estabilidade possibilitam avaliar as condições P-T. Baseado nestes princípios, London & Burt (1982) propuseram um diagrama de fases para o sistema $\text{LiAlSiO}_4\text{-SiO}_2$ que é amplamente aplicado a sistemas pegmatíticos naturais (London, 1990). Também estudos de inclusões fluidas provêm um meio de avaliação das condições P-T, composição dos fluidos envolvidos na cristalização de pegmatitos, e sua evolução ao longo de todo o processo sendo, no entanto, necessário um cuidado extremo para caracterizar as IF como primárias.

O conteúdo de certos elementos químicos é de extrema importância para o entendimento da evolução de sistemas pegmatíticos. Altas concentrações de B, F e P e elementos do grupo I (Li, Na, K, Rb, Cs) tendem a rebaixar o *liquidus* pegmatítico para aproximadamente 650°C (dentro do campo de estabilidade do espodumênio e petalita) e o *solidus* para temperaturas abaixo de 500°C. A baixa temperatura do *liquidus* permite que magmas pegmatíticos de elementos raros migrem para condições metamórficas de fácies andalusita-cordierita/estaurolita. Migrações físicas de magmas podem ser facilitadas também pela baixa viscosidade da fusão de pegmatitos ricos em H_2O , B, e F (London, 1992). Ainda, segundo London (1996), B, P e F promovem completo fracionamento das fusões, levando-as para composições sódicas, isto é, para fusões que geram albita-espodumênio em pegmatitos.

A presença de F em sistemas silicatados hidratados tende a baixar a temperatura e a viscosidade, mas produz relativamente pequena mudança na cinemática de cristalização. A mera presença de F em sistemas graníticos não é suficiente para produzir cristais gigantes. Granitos ricos em Sn, com altas concentrações de F, não são capazes de gerar grandes cristais, como ocorre em pegmatitos. O desenvolvimento de grandes cristais requer a presença da fase vapor (Swanson & Fenn, 1992), em concordância com a teoria de Jahns & Burnham (1969). Em alguns casos, como nas cavidades miarolíticas (pockets), o crescimento de grandes cristais está claramente associado com a fase vapor, que segundo London (1992), constitui uma pequena fração de volume dentro de corpos pegmatíticos.

Estudos recentes de inclusões fluidas e inclusões de fusão (Webster *et al.*, 1997; Thomas *et al.*, 2000) mostram evidências de extremo enriquecimento de P, B e F em alguns pegmatitos miarolíticos e de elementos raros.

Veksler & Thomas (2002), em estudos experimentais com pegmatitos sintéticos constituídos basicamente de P_2O_5 , B_2O_3 , F, Rb_2O , Cs_2O e Li_2O , sob condições saturadas em H_2O e pressões variando entre 0,1 e 0,2 GPa, mostraram que a imiscibilidade de fluidos e a separação espacial de fases provêm um efetivo mecanismo de diferenciação química em pegmatitos. Do ponto de vista da mobilidade, fluidos aquosalinos podem ser um efetivo agente de transporte e podem causar extensivas reações em minerais, típicas de zonas de baixa temperatura em pegmatitos miarolíticos e de elementos raros.

Através de estudos de inclusões fluidas e de fusão, Thomas *et al.* (2003) mostraram que a existência de completa miscibilidade entre fusão e fluido é possível a temperaturas consideravelmente baixas. Tal comportamento é possível devido à complexa interação dos voláteis H_2O , F e Cl, dos semi-voláteis B_2O_3 e P_2O_5 e componentes de fluxo tais como Li_2O , Rb_2O e Cs_2O , juntamente com SiO_2 e Al_2O_3 na fusão. A partir destes estudos fica evidente para os autores que a imiscibilidade e o estágio supercrítico são eventos-chave no entendimento da evolução de pegmatitos. Para Thomas (2003), a teoria de Jahns & Burnham (1969) adicionada ao conceito de imiscibilidade líquido-líquido pode explicar mais ou menos todas as etapas da gênese de pegmatitos graníticos.

4.1 – Província Borborema: Quadro Geral

A Província Estrutural da Borborema (Almeida *et al.*, 1977) compreende uma região de terrenos consolidados pelo ciclo Brasileiro ($600\pm 100\text{Ma}$) como o último evento orogênético importante na formação de rochas e estruturas dúcteis. Conforme se observa na Figura 4.1, a Província Borborema situa-se no Nordeste do Brasil, limitada a oeste pelos sedimentos Fanerozóicos da Bacia do Parnaíba, a norte-nordeste e leste por bacias Fanerozóicas costeiras, e a sul e noroeste pelos crátons São Francisco e São Luiz, respectivamente. Sua área excede 450.000km^2 , segundo Brito Neves *et al.* (2000).

Estruturalmente a Província Borborema pode ser caracterizada por foliações regionais predominantemente de baixo ângulo, observadas em rochas supracrustais e do embasamento (Caby *et al.*, 1995) e por ser entrecortada por uma malha de zonas de cisalhamento em escala continental (Neves, 1996).

Brito Neves (1975, 1983) subdividiu geotectonicamente a Província Borborema em faixas de dobramentos, maciços medianos e lineamentos. Para este autor as faixas de dobramentos Sergipana, Riacho do Pontal, Pajeú-Paraíba, Piancó-Alto Brígida, Seridó, Jaguaribe e Médio Coreaú, separadas por maciços como Pernambuco-Alagoas, Rio Piranhas, Tauá e Granja, entre outros, estariam inseridos nesse contexto tectônico. Os lineamentos principais, Pernambuco e Patos, são megazonas de cisalhamento transcorrentes de direção geral E-W, com grande influência em toda a estruturação da região, subdividindo a Província em Domínio Setentrional, Domínio Central (Faixa Transversal) e Domínio Meridional.

As faixas de dobramentos (faixas supracrustais) são constituídas por metassedimentos e metavulcânicas, de idade Proterozóica, podendo apresentar uma evolução estrutural simples ou resultar de uma seqüência de eventos deformacionais e metamórficos e de intrusões de corpos granitóides. Conforme Santos & Brito Neves (1984) as formas das faixas de dobramentos são variadas, sendo geralmente alongadas. São resultado de eventos que deram origem a estruturas tais como dobras, lineamentos, entre outros. As faixas de dobramentos, também chamadas de sistemas de dobramentos (Brito Neves, 1983; Santos & Brito Neves, 1984) constituem sub-domínios metamórficos distintos, com metamorfismo regional variando entre fácies xisto verde a anfíbolito, em quase todas elas.

Os maciços representam o embasamento da Província, sendo constituídos basicamente de rochas gnáissico-migmatíticas, de idade Paleoproterozóica a Arqueana. Geralmente localizam-se adjacentes às faixas supracrustais ou formam núcleos no interior destas.

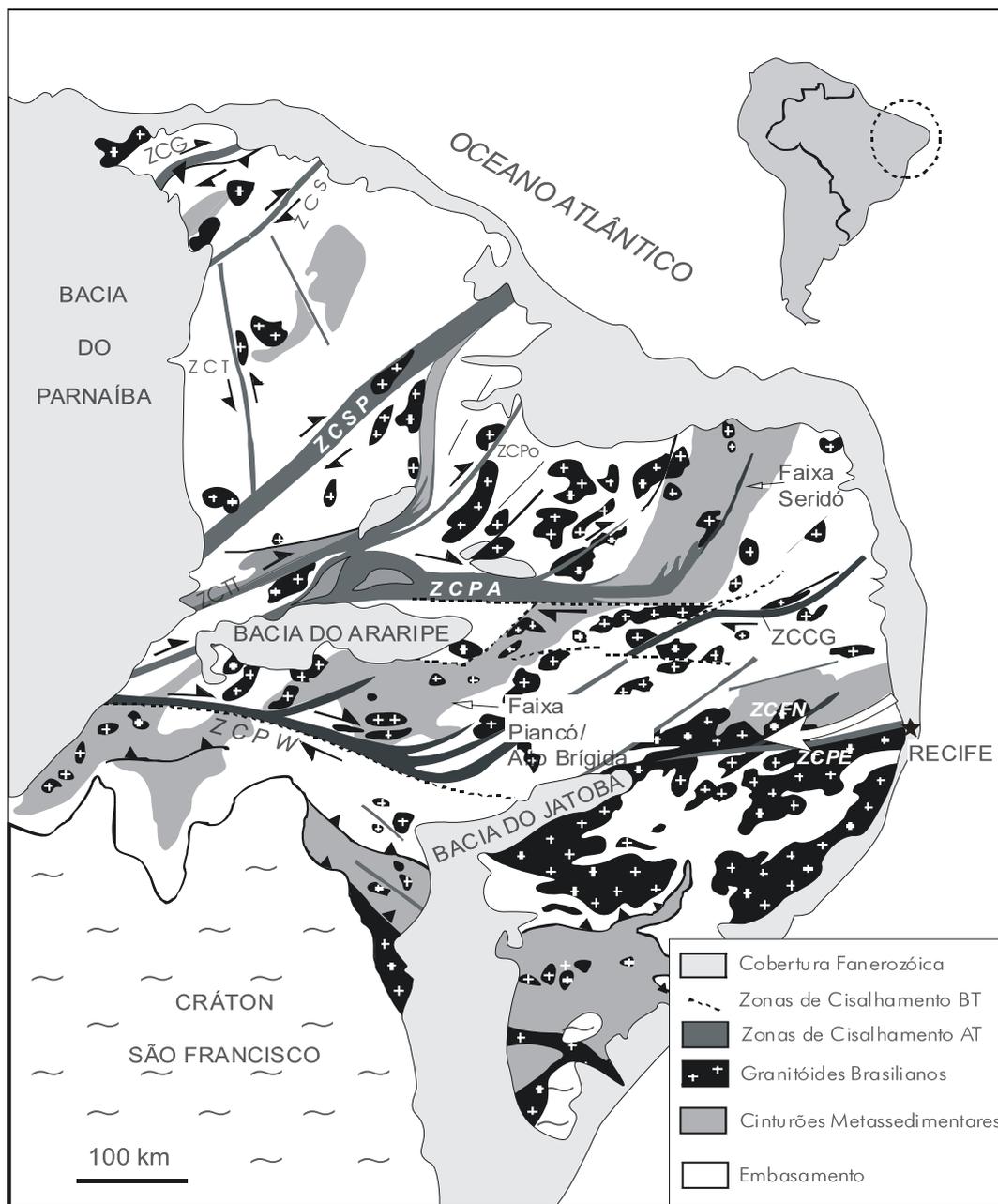


Figura 4.1- Província Estrutural Borborema (Vauchez *et al.*, 1995). ZCCG – zona de cisalhamento Campina Grande; ZCPE – zona de cisalhamento Pernambuco leste; ZCPW – zona de cisalhamento Pernambuco oeste; ZCFN – zona de cisalhamento Fazenda Nova; ZCG – zona de cisalhamento Granja; ZCPO – zona de cisalhamento Portalegre; ZCPA – zona de cisalhamento Patos; ZCSP – zona de cisalhamento Senador Pompeu; ZCS – zona de cisalhamento Sobral; ZCTT – zona de cisalhamento Tatajuba. AT – alta temperatura; BT – baixa temperatura

De acordo com Brito Neves (1983) as formas dos maciços são muito variadas, sendo usualmente poligonais, ovalares ou muito irregulares, com contornos mal delineados, às vezes com bordos retilíneos, subsidiados por zonas de cisalhamentos.

Uma feição marcante na Província Borborema foi o volumoso magmatismo ácido que gerou batólitos, stocks e diques graníticos, granodioríticos e sieníticos, e em menor escala, corpos básicos e ultrabásicos. Apenas no maciço Tauá a presença de rochas básicas e

ultrabásicas adquirem grandes proporções (Santos & Brito Neves 1984). De acordo com Neves (1996) muitos plútons graníticos estão associados a zonas de cisalhamento e a cristalização sin-cinemática pode ser demonstrada para alguns plútons da região (Archanjo *et al.* 1992). Contribuições importantes visando entender o comportamento dos corpos granitoides foram oferecidas pioneiramente por Almeida *et al.* (1967), Ebert (1969) e Ferreira & Albuquerque (1969), Sial (1986), Nascimento *et al.* (2000), Jardim de Sá (1994), Neves & Mariano (1997), entre outros. Sial (1986) estudando as rochas granitoides de Pernambuco e Paraíba classificou-as, baseado em critérios petrográficos, geoquímicos e isotópicos, em quatro grupos: cálcio-alcálicos (tipo Conceição), cálcio-alcálicos potássicos (tipo Itaporanga), peralcalinos (tipos Catingueira e Triunfo), granitos de afinidade trondhjemíticas (tipo Serrita). A distribuição e a geoquímica destes e de outros corpos graníticos da Província Borborema foram revisados por Ferreira *et al.* (1998).

Para Brito Neves (1983) e Santos & Brito Neves (1984) os sistemas de dobramento da porção extremo sul da Província, localizados entre o lineamento Pernambuco e o cráton São Francisco, bem como aqueles situados ao norte do lineamento Patos são denominados de sistemas marginais, enquanto os sistemas localizados entre os lineamentos Patos e Pernambuco recebem a denominação de sistemas interiores.

Atualmente é usual dividir-se a Província Borborema em setores ou domínios norte, central (ou zona transversal) e sul (Neves & Mariano, 2001), levando-se em consideração os lineamentos Patos e Pernambuco e as diferenças nos registros geocronológicos entre estes setores, indicando uma evolução geotectônica diferente. Devido à sua complexidade tectônica, é corrente o uso de domínios geotectônicos (Santos e Brito Neves, 1984; Jardim de Sá, 1994; Vauchez *et al.*, 1992, entre outros). Santos (1996) levando em consideração feições estruturais, litologias dominantes, idades, analisa a Província sob a ótica de terrenos tectonoestratigráficos, que possibilita uma apreciação mais dinâmica da sua evolução.

A idade e evolução das faixas supracrustais da Província Borborema têm gerado discussões e controvérsias ao longo das últimas décadas. Na década de 70 a maioria dos estudos considerava as faixas supracrustais como sendo monocíclicas, relacionadas ao evento Brasileiro. Trabalhos de Ries & Shackleton (1977) e Jardim de Sá (1978, 1984), baseados em dados estruturais e petrológicos, enfatizavam uma evolução policíclica para a região do Seridó. Estas idéias foram posteriormente estendidas para as seqüências supracrustais da Província, exceto as faixas Sergipana e Médio Coreau. A partir da metade da década de 80, as fases de deformação conhecidas passaram a ser interpretadas por alguns autores (Archanjo & Salim, 1986; Caby *et al.*, 1995) como resultado de deformação progressiva em um único ciclo orogênico. Dados recentes de datações por U-Pb e Pb-Pb em zircões, associados a dados isotópicos de Sm-Nd (Van Schmus *et al.* 2000; Santos *et al.* 2000) em rochas supracrustais da porção ao norte do lineamento Patos, inclusive da

Faixa de Dobramentos Seridó, confirmam que a deposição, deformação e metamorfismo dessas seqüências ocorreu no Neoproterozóico, tendo sido afetadas apenas pela orogênese Brasileira. Admite-se então uma evolução monocíclica Brasileira, com desenvolvimento polifásico.

No domínio da zona transversal, região situada entre as zonas de cisalhamento Pernambuco e Patos, identificou-se a ocorrência de um evento tectônico com idades entre 1,1 a 0,95 Ga, designado como Cariris Velhos (Brito Neves *et al.*, 1995 e outros autores) em alusão à localidade tipo. Brito Neves *et al.* (1995, 2000); Santos & Medeiros (1999), entre outros, interpretam este evento como um episódio orogenético, atribuindo a evolução da Província Borborema ao retrabalhamento e amalgamação de vários terrenos e blocos crustais durante o ciclo Brasileiro, enquanto que Neves & Mariano (1999, 2001) entre outros, acreditam tratar-se de um evento puramente extensional (rifteamento). A Faixa de Dobramentos Seridó será destacada neste trabalho, pois nela está inserida a Província Pegmatítica da Borborema (PPB), hospedeira dos pegmatitos estudados.

4.2– Faixa de Dobramentos Seridó

4.2.1 – Estratigrafia

A Faixa de Dobramentos Seridó, ou simplesmente Faixa Seridó, é uma região clássica do Nordeste brasileiro, situada no extremo NE da Província Borborema, limitada ao sul e oeste respectivamente pelas zonas de cisalhamento Patos (lineamento Patos) e Portalegre, enquanto que a norte e a leste por sedimentos relacionados a bacias Fanerozóicas de margem continental (Jardim de Sá, 1994), conforme Figura 4.2. Feições importantes na Faixa Seridó são o seu *trend* N-NE, imposto por zonas de cisalhamento transcorrentes e o volumoso magmatismo granítico, representado pela ocorrência de corpos batolíticos, tais como os maciços Acari e São Rafael.

Vários autores, em épocas distintas, desenvolveram trabalhos sobre a geologia da região do Seridó. Dentre eles podemos citar Ferreira (1967), Ebert (1969), Ferreira & Albuquerque (1969), Brito Neves (1983), Santos & Brito Neves (1984), Jardim de Sá (1978, 1984, 1994), Archanjo & Salim (1986), Archanjo (1987).

A geologia da Faixa Seridó é dominada por um conjunto de rochas supracrustais (metassedimentares e metavulcânicas), metamorfisado nos fácies xisto verde a anfíbolito. Este conjunto conhecido por Grupo Seridó, repousa discordantemente sobre um embasamento gnáissico-migmatítico, designado Complexo Caicó (Jardim de Sá 1984, 1994) e é intrudido por volumosos e numerosos corpos granitóides.

O embasamento (Complexo Caicó) constitui-se predominantemente de uma associação de ortognaisses tonalíticos a granodioritos de assinatura cálcioalcalina normal a potássica, com contatos entre elas e as supracrustais marcados por zonas de cisalhamento tangenciais ou transcorrentes. O contato do Grupo Seridó com o embasamento está

usualmente marcado por zonas miloníticas transcorrentes ou tangenciais (Jardim de Sá, 1994).

A presença de supracrustais no Complexo Caicó e o alto grau metamórfico destas rochas tornam complexa a distinção entre estas supracrustais e as supracrustais do Grupo Seridó em algumas áreas (Santos & Ferreira, 2002).

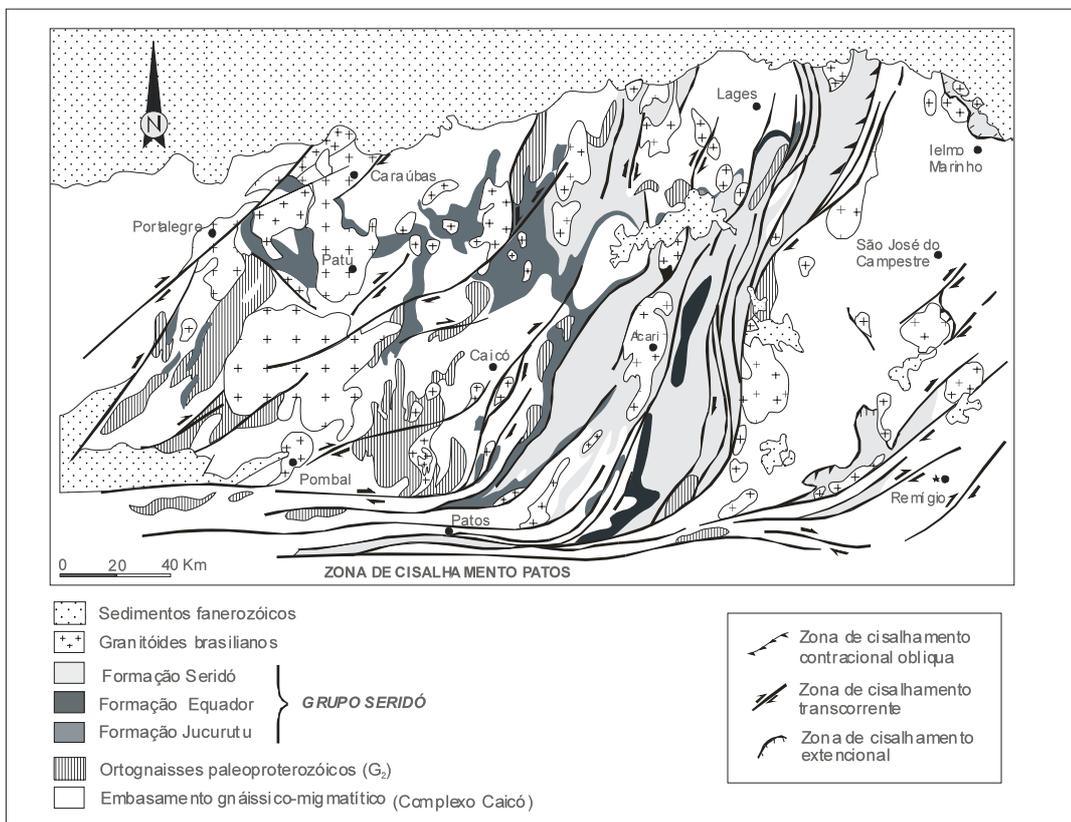


Figura 4.2 - Mapa simplificado da Faixa Seridó e seu embasamento, segundo Jardim de Sá (1994).

As primeiras datações do Complexo Caicó, desenvolvidas pelo método Rb-Sr, forneceram idades correspondentes ao Arqueano (Brito Neves, 1975). Posteriormente Hackspacher *et al.* (1990), usando idades U-Pb em zircões de metaplutônicas, indicaram uma idade de 2,23 a 2,15 Ga para a intrusão dos protólitos plutônicos. Determinações geocronológicas U-Pb e Sm-Nd do Complexo Caicó (Jardim de Sá, 1994; Van Schmus *et al.*, 1995) indicam idades variando entre 2,3 e 2,15 Ga.

Estratigraficamente as supracrustais da Faixa Seridó, ou seja, o Grupo Seridó, de idade Neo-proterozóica (Brasiliana), de acordo com a maioria dos autores, pode ser dividida, da base para o topo, nas Formações Jucurutu, Equador e Seridó. A seguir descreve-se resumidamente a constituição litológica da cada Formação.

Formação Jucurutu

É constituída, na localidade tipo, de paragnaisses quartzo feldspáticos com pouca biotita ± muscovita ± epidoto. O plagioclásio é mais abundante que o feldspato potássico, porém com quartzo dominante (às vezes superior a 50%), segundo Jardim de Sá (1984).

De um modo geral esta formação é constituída por uma seqüência metassedimentar, com pequena contribuição vulcânica, representada por associação de biotita gnaisses com variações faciológicas para hornblenda gnaisses, biotita xistos, intercalações de calcários cristalinos, rochas calciossilicáticas, muscovita quartzitos e metavulcânicas (Ferreira & Santos, 1998).

Os gnaisses têm coloração cinza azulada, com bandamento homogêneo e textura fina a média. Os muscovita quartzitos são de granulometria fina, constituídos de quartzo, muscovita e algum feldspato. As vulcânicas são de natureza básica a intermediária. Os calcários cristalinos são de textura média a grosseira, de coloração esbranquiçada, com bandas acinzentadas, com maior exposição a oeste de Jardim do Seridó. As calciossilicáticas ocorrem nos biotita gnaisses epidotíferos, sob a forma de nódulos ou intercalações, de coloração esverdeada e granulometria fina, ou nos contatos dos gnaisses com os mármore; são portadores das principais mineralizações de scheelita da região. Os biotita xistos têm granulometria fina a média, de coloração cinza escura, constituídos de quartzo, feldspato e biotita (Ferreira & Santos, op. cit.).

Formação Equador

É constituída basicamente por muscovita-quartzitos com fáceis arcoseanas e metaconglomeráticas. Os muscovita-quartzitos são de coloração branca, foliação bem desenvolvida, granulometria fina a média e textura equigranular. Segundo Da Silva (1993) os muscovita quartzitos são constituídos de quartzo (50-70%), muscovita (27-30%) e microclina (>20%), tendo como acessórios epidoto, biotita, titanita, apatita, zircão, turmalina, fuchsite, hematita, magnetita e sillimanita. Os metaconglomerados são polimíticos, com seixos de quartzo, gnaiss, granito, pegmatito, matriz de coloração cinza a esverdeada, predominantemente quartzosa, localmente arcoseana e possuem foliação pouco desenvolvida e forte lineação de estiramento NNE-SSW, representada pelo alinhamento do eixo maior dos seixos (Ferreira & Santos, 1998). Cerca de 11% dos pegmatitos mineralizados da PPB, inclusive os estudados neste trabalho estão encaixados nesta unidade estratigráfica (Da Silva & Dantas, 1984; Da Silva, 1993).

Formação Seridó

Esta unidade estratigráfica, a mais típica da região do Seridó, é constituída por uma seqüência pelítica (com granada-biotita xisto como litologia dominante), com variações para psamítica (muscovita-quartzitos intercalados na seqüência pelítica) e carbonática (calciossilicáticas intercaladas nos granada-biotita xisto e calcários cristalinos), conforme Ferreira & Santos (1998).

A seqüência pelítica é representada por granada-biotita xisto, localmente com elevado teor de feldspatos, com quartzo e sillimanita, podendo também conter nódulos de cordierita. Também podem ocorrer na seqüência pelítica quartzo-biotita xisto e biotita gnaiss. A

seqüência psamítica é representada por muscovita-quartzito intercalado na seqüência pelítica. A seqüência carbonática é representada por pequenas lentes de rochas calciossilicáticas intercaladas nos granada-biotita xistos e calcários cristalinos, geralmente nas proximidades dos contatos desta formação com outras unidades supracrustais, ou no contato com o embasamento (Ferreira & Santos, 1998).

Nesta Formação estão inseridos cerca de 80% dos corpos pegmatíticos mineralizados da PPB, produtores principalmente de tantalita-columbita, berilo, cassiterita, minerais de urânio e minerais gemológicos, tais como turmalinas, granada, água marinha, heliodoro, assim como feldspato, caulim, mica e quartzo.

Jardim de Sá (1994) elaborou uma coluna litoestratigráfica tomando por base critérios litoestratigráficos, datações geocronológicas e agrupamentos geotectônicos, integrados a modelos já propostos, conforme Figura 4.3, englobando as unidades da Faixa Seridó.

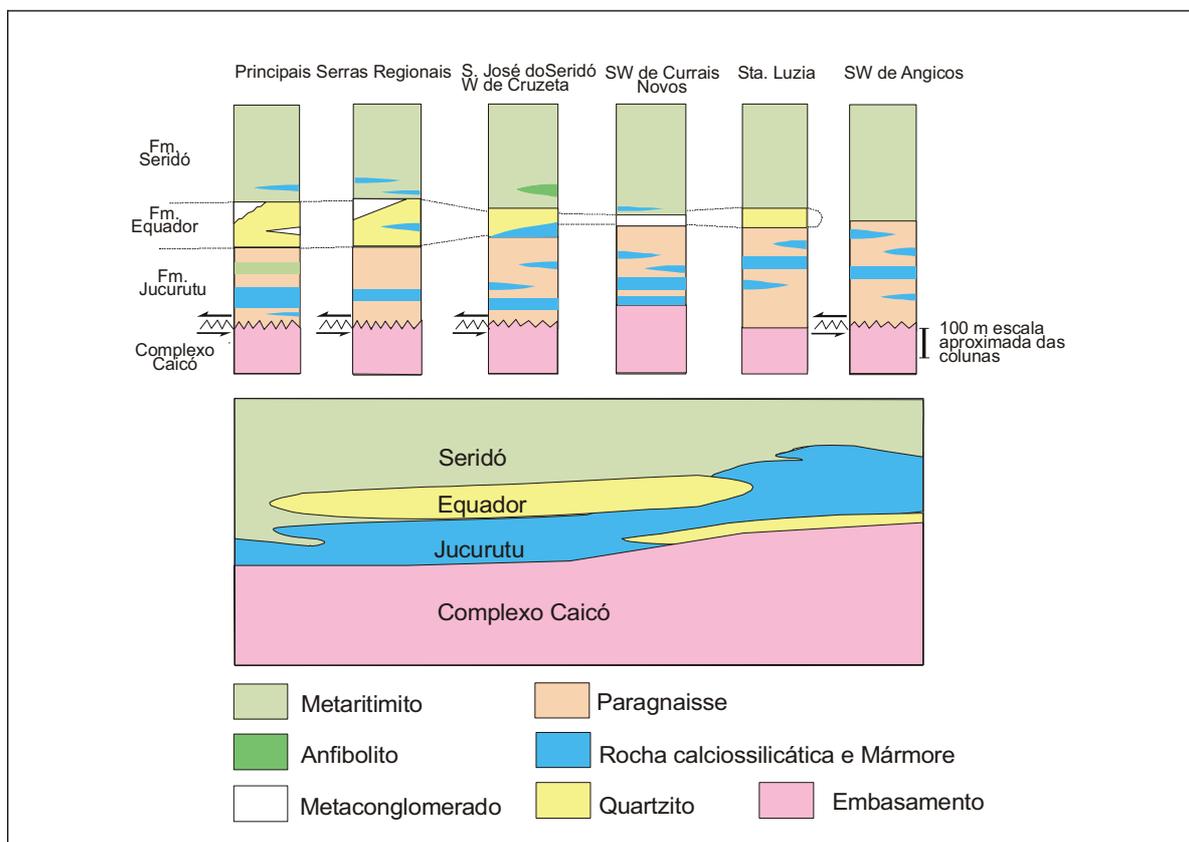


Figura 4.3- Estratigrafia do Grupo Seridó (Jardim de Sá, 1994. In: Santos & Ferreira, 2002)

4.2.2 – Aspectos Estruturais

Autores como Ebert (1969) e Ferreira & Albuquerque (1969) consideravam, de um modo geral, uma organização estrutural muito simples para a região do Seridó, representada por dobramentos abertos, com plano axial de mergulho vertical a subvertical, com eixos orientados segundo NNE-SSW. Posteriormente, Ries & Shackleton (1977) e

Jardim de Sá (1978) enfatizaram uma evolução tectonometamórfica complexa, estabelecendo uma história polifásica de deformação.

São reconhecidas sucessivas fases deformativas associadas a atividades ígneas, assim descritas:

A fase F1 de deformação se caracteriza por apresentar dobras apertadas a isoclinais, afetando unicamente as rochas do embasamento. Foi descrita inicialmente por Ries & Shackleton (1977), não mais referida em trabalhos posteriores, como por exemplo, Jardim de Sá (1978). Foi novamente mencionada por Martins Sá (1982) de acordo com Jardim de Sá (1984), motivado pela maior intensidade do evento subsequente (F2) que obliterou parcialmente F1, bem como pelo fato de que estruturas semelhantes (foliações de baixo ângulo) também terem se formado em F2.

O evento F2 é de grande intensidade, formando dobras isoclinais a intrafoliais apertadas, com transposição, podendo ocupar até uma posição recumbente. As dobras desenvolveram uma foliação tipo xistosidade ou clivagem de crenulação. O evento F2 variou do fácies xisto verde a anfíbolito, atingindo a isógrada da anatexia.

Durante o evento F2 o pacote de rochas supracrustais foi intrudido por massas graníticas, granodioríticas e tonalíticas, de textura porfírica ou equigranular (Jardim de Sá, 1984).

O evento F3, de grande penetratividade na região, tem um “*trend*” homogêneo NE-NNE. Originou grande parte das antiformes e sinformes, formando macroestruturas de dobras abertas, levemente assimétricas, com plano axial forte. Durante o evento F3 o metamorfismo predominante foi o fácies xisto verde, podendo chegar à fácies anfíbolito. Grandes intrusões graníticas em forma de batólitos ou “stocks” estão relacionadas a este evento.

O evento F4, sucedeu ao F3, com efeitos mais facilmente visíveis em locais onde as dobras F3 têm planos axiais com fraco mergulho. Este evento é responsável principalmente pelo desenvolvimento de “kink bands”, dobras abertas e clivagens de fratura.

Os pegmatitos mineralizados que ocorrem na região foram gerados, segundo Jardim de Sá (1984) pós-F3 ou pós-F4, relacionados ao granito tipo G4 de Jardim de Sá *et al.* (1981), com controle estrutural estudado em detalhe por Agrawal (1992) e Araújo *et al.* (2001).

4.2.3 – Plutonismo Granítico

A ocorrência de extensos corpos de natureza granítica na região do Seridó tem motivado a realização de muitos trabalhos que objetivam classificar e posicionar estas rochas no contexto geológico regional. Podem ser citados, entre outros, as colaborações de Jardim de Sá *et al.* (1978, 1981, 1986), Da Silva e Guimarães (1992), Da Silva (1993) e Archanjo (1995).

Os corpos granitóides exibem uma distribuição dispersa, intrudindo-se em diversas unidades estratigráficas. Formam plútons de formas diversas ou compõem maciços polidiapíricos como o de Acari, por exemplo (Ferreira & Santos, 1998).

Jardim de Sá *et al.* (1978, 1981) com base em critérios estruturais propuseram, utilizando índices alfabéticos para designar as seqüências de posicionamento e índices numéricos designando a fase tectônica mais antiga, uma estratigrafia para as rochas granitóides da região, conforme descrito resumidamente nos parágrafos subseqüentes.

A associação granitóide G1 corresponde a rochas graníticas restritas ao Grupo Caicó, de composição granodiorítica a tonalítica, mais raramente diorítica, sendo usualmente encontrado como xenólito nos granitóides G2, desenvolvendo estruturas agmatíticas. Estão associados a estruturas F1.

Os granitóides G2 estão associados a estruturas F2, sendo agrupados em 2 subtipos, descritos a seguir. G2A reúne augen gnaisses e ortognaisses porfiroblásticos, sendo mais importantes volumetricamente. G2B é formado diretamente por anatexia de material do embasamento ou da seqüência metassedimentar. Não envolve a feldspatização observada nos granitóides G2A. Tem composição geralmente granítica a granodiorítica, com biotita e hornblenda.

Os granitóides G3 estão associados a F3 e podem ser subdivididos em G3A, G3B e G3C. Os granitóides G3A correspondem a granitos porfíricos “dente de cavalo”, com grandes fenocristais de microclina e textura rapakivi. Os granitóides G3B são constituídos predominantemente de granitos cinza a róseo, equigranular, com fases nebulíticas, e às vezes, com xenólitos de G3A. Os granitóides G3C são predominantemente de granulometria média, com menor densidade de fenocristais, consistindo nas partes mais extensas dos maciços de composição granítica a granodiorítica.

Os granitóides G4 estão relacionados ao evento F4. O acúmulo de grande volume de líquido anatético, talvez a partir dos granitos G3B, teria permitido a formação de diques e stocks de granito a granodiorito cinza a róseo, equigranular, fino a médio, pouco ou não deformados. Este tipo engloba aplitos e pegmatitos simples ou zonados (Jardim de Sá, 1984).

Da Silva & Guimarães (1992) e Da Silva (1993), estudando geoquimicamente granitóides da borda leste da Faixa Seridó denotaram estes corpos por GR-1, GR-2, GR-3 e GR-4, com os granitóides GR-1 subdivididos nos fácies GR-1a e GR-1b e os granitóides GR-3 nas fácies petrográficas GR-3a e GR-3b, assim definidos:

GR-1a – granito grosseiro, porfírico, com fenocristais, com biotita, e hornblenda como constituintes menores;

GR-1b – granitos e granodioritos equigranulares, de granulometria média, coloração rósea e mineralogia semelhante à do fácies GR-1a;

GR-2 – formam pequenos plútons e stocks. São granodioritos a tonalitos leucocráticos, com granulometria variando entre fina a média, raramente porfirítico. Apresentam hornblenda sódica, ferroaugita e biotita como componentes menores;

GR-3 – são granitóides de caráter peraluminosos (granada, muscovita, entre outros) e provavelmente estão relacionados com pegmatitos, considerando suas relações espaciais, textura pegmatítica, presença de fase volátil (cristalização de turmalina) e padrões de ETR atípicos. São subdivididos em:

GR-3a - leucogranito de granulação média com biotita e muscovita como constituintes menores;

GR-3b – é conhecido como “granito pegmatóide”, apresentando uma textura equigranular grosseira a pegmatítica. É constituído de fenocristais decimétricos de k-feldspato dentro de uma massa de granulação grosseira formada de k-feldspato, quartzo, albita, biotita e muscovita, com turmalina e granada como acessórios mais comuns. Do ponto de vista tectônico são fortemente controlados pelas estruturas regionais.

GR-4 – consiste em leucogranitos de granulometria fina a média, com proeminente orientação dos minerais félsicos.

A partir do diagrama AFM esses autores concluíram que os granitóides definem um *trend* típico de rochas da série cálcio-alcálica. Concluíram também, com auxílio de padrões de terras raras, que anomalias de Eu são ausentes ou pouco pronunciadas. Os resultados obtidos através de geoquímica sugerem que, com exceção do fácies GR-2, todos outros granitóides têm sua origem ligada a fusão parcial da crosta continental.

Análise detalhada da estrutura interna de vários plútons da região do Seridó, baseada em estudos de anisotropia de susceptibilidade magnética, levou Archanjo (1995) a afirmar que o *fabric* magmático adquirido durante o alojamento dos granitos está fortemente influenciado pela deformação regional.

CAPÍTULO V – PROVÍNCIA PEGMATÍTICA DA BORBOREMA (PPB): ESTUDOS ANTERIORES

5.1 – Aspectos Gerais

A Província Pegmatítica da Borborema (PPB) insere-se em partes dos Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, em área aproximadamente limitada pelas coordenadas geográficas 5°30'S e 7°15'S de latitude e 35°45'W e 37°15'W de longitude e corresponde à parte oriental da Faixa de Dobramentos Seridó, na Província Borborema conforme exibido na Figura 5.1.

Os pegmatitos, mineralizados, principalmente em Ta-Nb, Be, Sn, Li, mivik8,, L....;nerais industriais e minerais-gemas desta Província, concentram-se preferencialmente nos municípios de Parelhas, Acari, Equador e Carnaúba dos Dantas, no Estado do Rio Grande do Norte, e nos municípios paraibanos de Picuí, Pedra Lavrada, Nova Palmeira, Frei Martinho, Juazeirinho e Junco do Seridó.

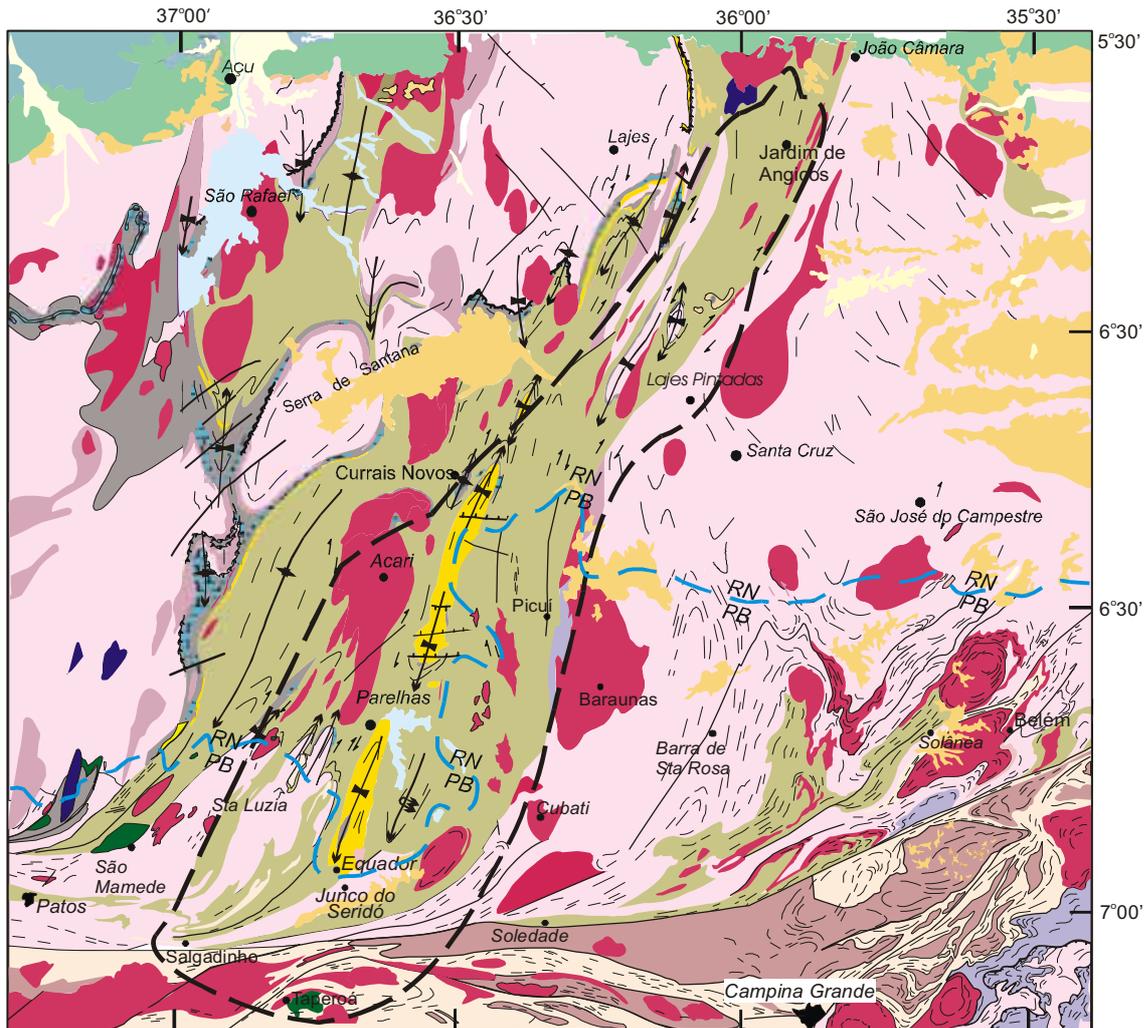
Com a II Guerra Mundial houve um extraordinário aumento do preço e da demanda por matérias-primas e minerais estratégicos, tais como berilo, tantalita, para suprir as necessidades crescentes dos países aliados. A Província Pegmatítica da Borborema (PPB) tornou-se uma região de excepcional importância estratégica. De acordo com Rolff (1946c) o município de Picuí, Paraíba chegou a produzir, neste período, 20% da produção mundial de tantalita e entre 8 a 10% da produção mundial de berilo. Neste período, cerca de 450 pegmatitos foram lavrados simultaneamente em toda região. Neste ambiente de excepcional produção foram produzidos alguns dos mais importantes trabalhos sobre os pegmatitos da PPB.

Os pegmatitos da PPB, além de serem portadores de minerais comuns em pegmatitos mineralizados em elementos raros, tais como berilo, turmalinas e tantalita, são famosos notadamente pela beleza e dimensão alcançada por estes minerais, contendo também em suas paragêneses minerais de ocorrência restrita, como simpsonita (Johnston Jr., 1945a; Pough, 1945), parabariomicrolita (Ercit *et al.*, 1986), alumotantita (Ercit *et al.*, 1992b), para os quais servem como sítio de referência mundial.

5.2– Classificação e Estrutura Interna

Vários dos pesquisadores que trabalharam na Província Pegmatítica da Borborema propuseram classificações para os pegmatitos baseadas em diversos critérios. Entre eles podemos citar Scorza (1944), Johnston Jr. (1945a, 1945b), Rolff (1945, 1946b) e Roy *et al.* (1964).

Figura 5.1 - Delimitação da Província Pegmatítica da Borborema em base geológica simplificada



Compilado do Mapa Geológico do Estado do Rio Grande do Norte, DNP/UFRRN/PETROBRÁS /CRM, 1998 e Mapa Geológico do Estado da Paraíba, DNP/MP/CRM/CDRM, 2002

LEGENDA

CENOZÓICO			
Depósitos aluvionares	Grupo Barreiras	Limite da Província Pegmatítica da Borborema (PPB)	N Foliação Traço axial de dobras Zona de cisalhamento contracional Zona de cisalhamento extencional Zona de cisalhamento Cidade Rede de Drenagem Limite estadual 0 20 40km
MESOZÓICO			
Formação Jandaira	Formação Açú		
NEOPROTEZÓICO			
Granitóides Brasileiros	Gr Serra de São José	Suíte Máfica	
NEO (?) a MESOPROTEZÓICO			
Formação Seridó	Suítes de augens gnaisses granitóides		
Formação Equador			
Formação Jucurutu			
Granitóides Cariris Velhos			
MESO/PALEOPROTEZÓICO			
Complexo São Caetano			
Ortognaisses/migmatitos da Serra de Jabitaca/Complexo Sertânea			
PALEOPROTEZÓICO/ARQUEANO			
Complexo Gnaissico/migmatítico			

Scorza (1944) agrupou os pegmatitos da região, utilizando pioneiramente o conceito de PPB, classificando-os segundo a presença de minerais de valor econômico: cassiterita, berilo, tantalita, columbita, em:

- (a) Pegmatitos que contêm cassiterita.
- (b) Pegmatitos que contêm minérios de cobre.
- (c) Pegmatitos que não contêm cassiterita nem minerais de cobre

Johnston Jr. (1945a, 1945b) tomando como base a estrutura interna dos pegmatitos da região classificou-os em homogêneos e heterogêneos, estabelecendo o zoneamento interno dos mesmos. Rolff (1945) classificou os pegmatitos em homogêneos, heterogêneos e mistos. De acordo com esses dois autores, as principais feições observadas em cada tipo são:

(a) Pegmatitos Homogêneos

- Constituídos principalmente por quartzo, feldspatos e muscovita, biotita, schorlita e almandina.
- Às vezes podem conter um pouco de berilo, columbita-tantalita, cassiterita.
- Mostram textura equigranular com granulometria centimétrica a decimétrica.
- Suas direções predominantes são N-S e E-W.
- Têm forma geralmente tabular.
- Suas dimensões variam entre 1 a 2m de espessura, com extensão de até centenas de metros.
- São mais abundantes que os pegmatitos heterogêneos.
- É comum o intercrescimento gráfico de feldspato e quartzo e pouco freqüente o intercrescimento gráfico de schorlita e quartzo.

(b) Pegmatitos Heterogêneos

- Constituídos principalmente por quartzo, feldspatos e micas, podendo conter grandes quantidades de tantalatos, berilos, cassiterita e espodumênio, granada e turmalina negra.
- As direções dominantes são N-S e E-W (as mesmas direções dos pegmatitos homogêneos).
- Podem conter grandes cristais (métricos) de berilo, feldspatos, espodumênio, entre outros.
- Têm forma geralmente lenticular.
- Têm dimensões que chegam a 600m de comprimento por 150m de espessura, em afloramento.
- São economicamente mais importantes que os pegmatitos homogêneos.
- Apresentam uma estrutura zonada típica.

(c) Pegmatitos Mistos

- Termo proposto por Rolff (1945) para definir pegmatitos intermediários entre os tipos homogêneos e os heterogêneos.
- São de granulação equidimensional, exceto alguns pontos onde ocorrem gigantismos de minerais, geralmente rodeados por massas de quartzo.
- Podem ser divididos em litiníferos, cupríferos, tantalíferos e gluciníferos (berilíferos).
- Ocorrem em pequeno número.

Johnston Jr. (1945a) propôs o modelo de estrutura interna dos pegmatitos heterogêneos composto pelas zonas I a IV como mostrado na Figura 5.2a e atualizada por Soares (1998), conforme Figura 5.2b, ressaltando os corpos de substituição.

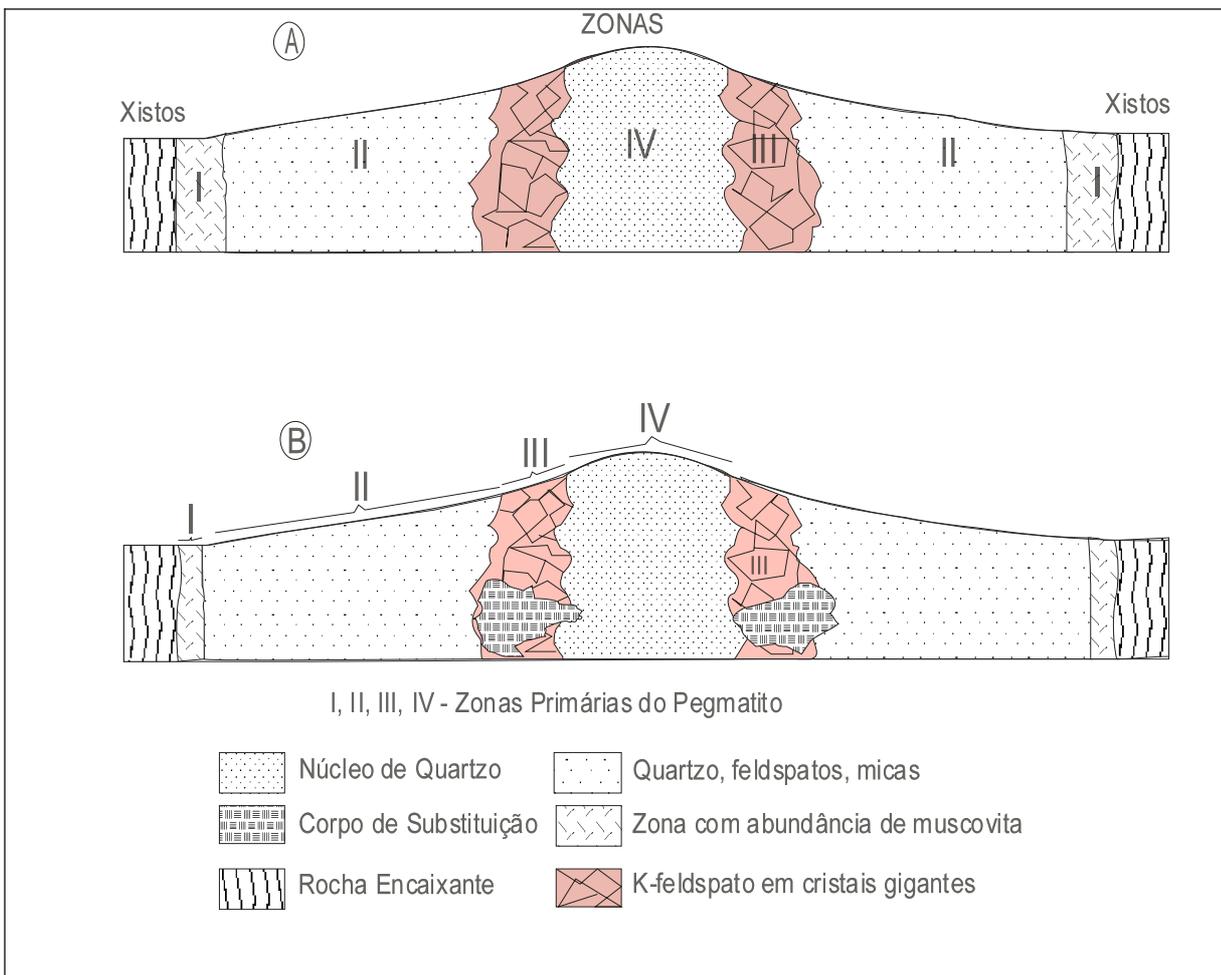


Figura 5.2 – Estrutura interna de pegmatitos heterogêneos em corte transversal esquemático: (A) Johnston Jr. (1945a); (B) Soares (1998), modificado de Johnston Jr. (1945a).

Roy *et al.* (1964) distinguiram os seguintes tipos de pegmatitos na PPB: homogêneos, heterogêneos, mistos e heterogêneos confusos (pegmatitos onde se observa a presença de várias zonas, porém fragmentadas e distribuídas ao acaso) e ainda heterogêneos completos e incompletos, quando apresentam o zoneamento clássico de Johnston Jr. (1945a) de forma completa ou incompleta.

5.3 – Alojamento

Os pegmatitos da Faixa Seridó estão encaixados em rochas metamórficas de fácies anfíbolito, principalmente nos xistos da Formação Seridó. Métodos geocronológicos U/Pb (uraninita), K/Ar (muscovita, lepidolita) e Rb/Sr (muscovita) aplicados por Almeida *et al.* (1968) e Ebert (1969) mostraram resultados que se concentram entre 480 e 510Ma para a formação destes pegmatitos, relacionados com o final do Ciclo Brasileiro. A grande frequência desses pegmatitos nas proximidades das zonas de cisalhamento tem levado vários autores a estudar as relações entre a colocação desses corpos e a tectônica brasileira.

Para Da Silva & Dantas (1984) e Da Silva (1993), aproximadamente 80% dos pegmatitos mineralizados da região estão encaixados nas diferentes fácies petrográficas do xisto Seridó, 11% nos quartzitos da Formação Equador, 4% em gnaisses, 2% em migmatitos e o restante (3%) em granitos, metaconglomerados da Formação Equador e outros litotipos. No que diz respeito às relações estruturais, cerca de 80% dos pegmatitos da região são discordantes em relação às rochas encaixantes.

Agrawal (1992) relacionou as idades dos pegmatitos com as fases de deformação F2 e F3 de Jardim de Sá (1978). Sugeriu dois estágios de posicionamento dos pegmatitos. O primeiro ocorreu sin- a tardi-F2, até pós-F2, com pegmatitos concordantes com a foliação principal (S2) das encaixantes, ou truncam estas e são afetados por F3. São homogêneos e têm forma laminar, sendo geralmente estéreis. O segundo estágio de formação dos pegmatitos é tardi a pós-F3. Os pegmatitos são homogêneos ou heterogêneos, pouco deformados e cortam a foliação S2 de Jardim de Sá (1978), preenchendo fraturas relacionadas a F3.

Legrand *et al.* (1993) entendem que o posicionamento dos pegmatitos paralelos às zonas de cisalhamento sugere que as intrusões se colocaram durante ou após o funcionamento desses cisalhamentos. Da Silva (1993) observou que alguns pegmatitos mineralizados são deformados pelo tectonismo regional, enquanto que outros não foram afetados pela tectônica regional, concluindo que eles constituem mais de uma geração de pegmatitos.

Araújo *et al.* (1998, 2001) identificaram, a partir de relações estruturais entre os pegmatitos e suas encaixantes, na região de Parelhas, duas formas de ocorrência de pegmatitos. Os homogêneos, geralmente alojados subparalelamente às foliações S3 ou C3 e os heterogêneos de *trend* NE-SW, colocados obliquamente em relação ao *trend* N-S das estruturas dúcteis. Durante a fase tectônica D3, os pegmatitos teriam se alojado em duas etapas: numa precoce (sintectônica), os pegmatitos homogêneos se alojaram ao longo dos planos de heterogeneidade de S3; em um episódio de colocação tardia, os pegmatitos

heterogêneos se alojaram ao longo de juntas de extensão escalonadas, geradas pela movimentação tardia (D_{3i}), dúctil-frágil das zonas de cisalhamento, conforme Figura 5.3.

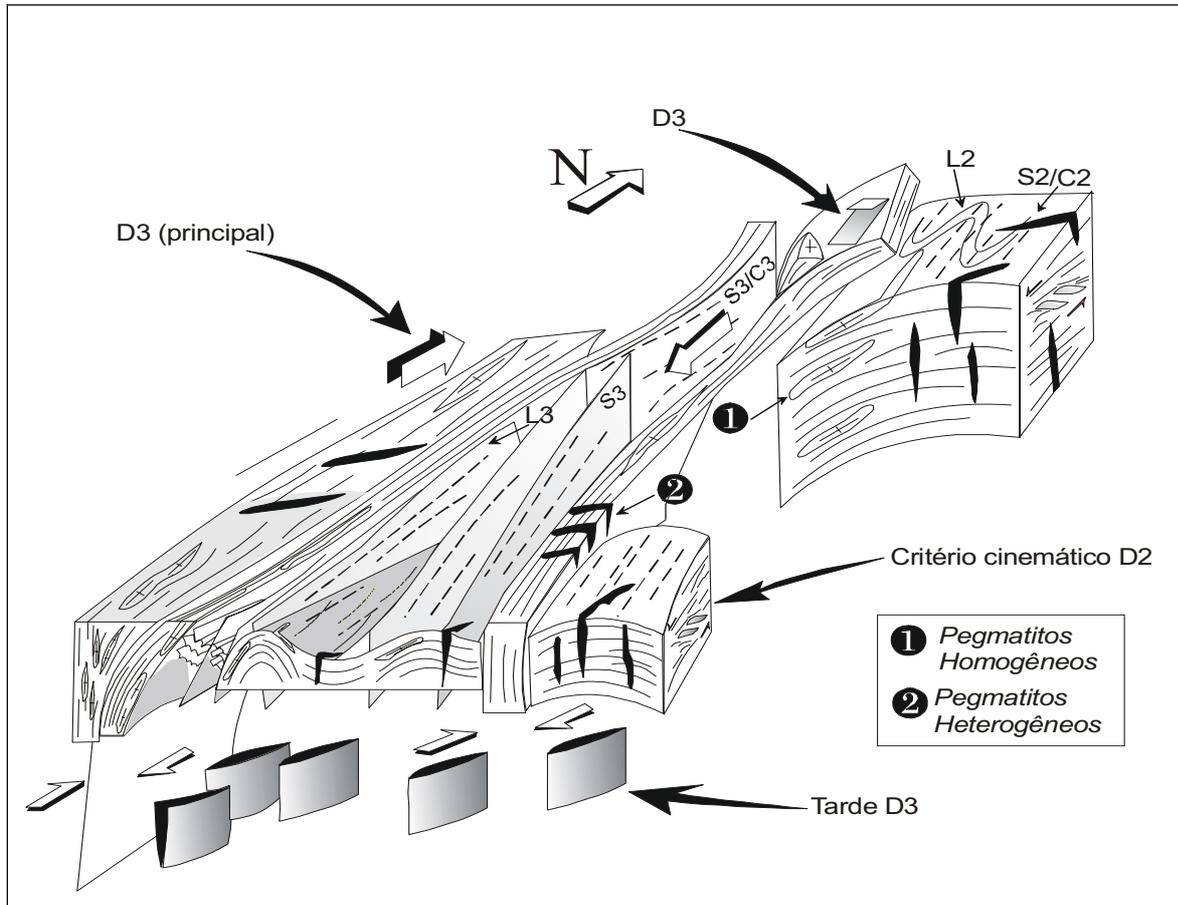


Figura 5.3 – Relações estruturais entre pegmatitos e suas encaixantes, segundo Araújo *et al.* (2001)

5.4 – Mineralogia

Os pegmatitos graníticos da região do Seridó são constituídos essencialmente por feldspato potássico, quartzo, muscovita e, geralmente em menor quantidade, albita, biotita, turmalina negra e granada.

O quartzo, mineral abundante nos pegmatitos da região, via de regra, não ocorre sob a forma de cristais bem formados, exceção das drusas (fogões), localizados nos núcleos, ou em zonas de substituição próximas deles. Distribui-se em todas as unidades, inclusive intercrescidos com os feldspatos (zona II). O quartzo do núcleo geralmente é leitoso (maioria dos pegmatitos), e mais raramente fumê, róseo ou citrino ou mesmo ametista. Raramente é hialino. Em um mesmo núcleo podem ocorrer mais de um tipo de quartzo.

Os feldspatos são de dois tipos: K-feldspato perítico e albita, esta última mais comumente na variedade cleavelandita (hábito lamelar, com arranjos radiais), quando em corpos de substituição, geralmente associada a micas tardias. Os K-feldspatos ocorrem normalmente nas zonas I e II intercrescidos com quartzo e micas, ou formando grandes cristais na zona III. Da Silva (1982) estudando a triclinicidade dos feldspatos concluiu que

eles são microclinas intermediárias, com ortoclásio ocorrendo restritamente. Observou também que a percentagem de albita exsolvida nas pertitas diminui das bordas para o centro, em pegmatitos heterogêneos, implicando que o K-feldspato da zona I e II são antipertitas, passando a pertita, com o prosseguimento do processo pegmatítico.

As micas, geralmente muscovita, ocorrem em dois tipos distintos: uma em grandes placas, típica dos zoneamentos primários, conhecidos como “rabo de peixe”; outra secundária, em pequenas placas, de cor predominantemente verde, que ocorre em corpos de substituição, associada geralmente a albita, quartzo, lepidolita e às vezes elbaíta. A biotita ocorre esporadicamente em alguns pegmatitos da região.

A mineralogia acessória inclui uma diversidade muito grande de minerais, alguns deles muito raros como o euclásio. Muitos trabalhos abordando mineralogia foram publicados, tais como Pough (1945), Rolff (1946a, 1946b, 1946c), Murdoch (1955, 1958), Rodrigues da Silva & Santos (1961), Rodrigues da Silva (1975), Adusumilli (1970, 1976), Robinson & Wegner (1998), Robinson *et al.* (2002), Beurlen *et al.* (2003), Soares *et al.* (2003) e também abordando gemologia, tais como Diniz & Nesi (1990), Ferreira (1997), Ferreira (1998), Wegner *et al.* (1998), Soares (1998), Ferreira *et al.* (2003), entre outros.

Adusumilli (1976) estudou os nióbio-tantalatos do Nordeste do Brasil. Fez uma revisão bibliográfica detalhada dos nióbio-tantalatos, incluindo mineralogia (minerais cristalinos e metamictos), cristalochimica, modo de ocorrência, abundância e importância econômica e descreveu pormenorizadamente os minerais de Nb e Ta que ocorrem no Nordeste. Conclui que as espécies cristalinas de maior frequência são columbitas-tantalitas e tapiolitas. Identificou e estudou, entre outros, os seguintes minerais: bismuto-tantalita, wodginita, ilmenorutilo, Ta-aeschinita, microlitas, stiringita.

Farias (1976) estudou a mineralogia do pegmatito Boqueirão. Identificou e descreveu novos minerais neste pegmatito, tais como antimonita, bismutinina, stibiotantalita, allanita, Fe-eosforita, entre outros. Classificou o pegmatito e caracterizou sucessivos estágios geoquímicos (Ginzburg, 1960) do processo evolutivo pegmatítico em cálcio-sódico (plagioclásio), potássico (microclina), lítico (espodumênio), sódico (oligoclásio), potássico tardio (muscovita) e lítio-potássico tardio (lepidolita).

Ferreira (1998) estudou elbaítas de diversas cores (verde, azul esverdeado, azul violetado) do pegmatito Alto Quixaba, Frei Martinho, PB, observando que a turmalina azul-violeta caracteriza-se por concentrações mais elevadas de Fe, Mn e Zn que as demais e que as turmalinas azuis, de modo geral, têm significativa concentração de Cu e V.

Soares (1998) estudou mineralogicamente e geologicamente as elbaítas azuis e vermelhas do pegmatito dos Quintos (Quintos de Baixo), Parelhas, RN. Constatou que a paragênese do pegmatito é bastante complexa, englobando turmalina negra, elbaíta, berilo (leitoso e morganita), espodumênio, lepidolita, gahnita, cookeíta, apatita, autunita e que seu

zoneamento primário é inibido pela presença marcante de corpos de substituição. Não observou a presença de minerais de Cu e Bi, presentes em muitos pegmatitos da região do Seridó. Observou que a elbaíta azul turquesa do pegmatito dos Quintos caracteriza-se, de modo geral, pelo alto conteúdo de CuO (0,67%), também citado por Henn *et al.* (1990), Rossman *et al.* (1991), Adusumilli *et al.* (1994), MacDonald & Hawthorne (1995) em outras elbaítas de cores similares da PPB.

Barreto (1999) estudou turmalinas gemológicas dos pegmatitos Capoeira, Quintos, Bulandeira e São José da Batalha. Caracterizou as turmalinas sob os aspectos químicos, estruturais e óticos, dando ênfase especial à origem de suas cores. As turmalinas estudadas foram classificadas como elbaítas típicas, a partir do seu conteúdo de Fe(total), Al, Li, Mg, Na e Ca. Identificou os elementos Fe, Zn, Cu, Mn como cromóforos das elbaítas. Mostrou que as elbaítas de cor púrpura caracterizam-se pelos mais elevados teores de Cu, teores intermediários de Mn, baixíssimos teores de Zn e ausência de Fe; as elbaítas incolores/cinza apresentam baixos teores de Fe, Cu, Zn e elevados teores de Mn; as elbaítas de cor verde com teores médios a elevados de Mn, Fe, Cu e Zn, com as de cor azul turquesa apresentando teores de Cu maior que qualquer outra; as elbaítas de cor azul apresentam os mais elevados teores de Fe e Zn, baixos teores de Cu e intermediários de Mn. Desenvolveu tratamento térmico nas elbaítas, concluindo que elas mudam de cor à temperatura de 600°C.

A relação de minerais já descritos na bibliografia sobre os pegmatitos da PPB, sistematizados por classe mineral é mostrada no Anexo I, já incluídos alguns novos minerais descritos pela primeira vez na PPB no presente trabalho.

5.5 – Petrologia e Geoquímica

Da Silva (1993) estudou pegmatitos da Província Pegmatítica da Borborema (26 pegmatitos mineralizados e 10 pegmatitos estéreis), relacionou sua geoquímica com a das rochas encaixantes e também com os diversos tipos de granitos que ocorrem na região. Chegou à conclusão que esses pegmatitos estão mais relacionados ao grupo GR-3, que corresponde ao G-4 de Jardim de Sá *et al.* (1981) do que com outros granitos. Concluiu, a partir de estudos de litogeoquímica, que estes pegmatitos podem ser inseridos no tipo berilo, sub-tipo berilo-columbita-fosfato de Cerny (1989b, 1991a) e que são medianamente diferenciados e medianamente mineralizados em Ta. Admitiu o modelo de Jahns & Burnham (1969) como o mais provável para a cristalização dos pegmatitos da PPB.

Oliveira (1996) através de estudo comparativo dos aspectos mineralógicos, texturais e estruturais, classificou os pegmatitos Capoeira como de origem ígnea, heterogêneos e enriquecidos em elementos raros. Interpretou sua gênese como resultado do fracionamento de corpos graníticos, possivelmente o granito Acari, de grande influência local. Sugere que

as elbaítas cupríferas teriam sua gênese ligada a fluidos enriquecidos em cobre, sendo este elemento incorporado a sua estrutura durante a cristalização.

Beurlen *et al.* (1997, 1998, 2000, 2001) estudaram inclusões fluidas em minerais como quartzo, turmalina, morganita, apatita, manganotantalita, granada e euclásio de pegmatitos da Província Pegmatítica da Borborema. Vários pegmatitos heterogêneos foram sistematicamente amostrados, procedidos estudos petrográficos e de microtermometria visando caracterizar os fluidos presentes na cristalização dos pegmatitos e sua evolução, concluindo pela evolução dos fluidos, inicialmente aquocarbônicos e aquosos de baixa salinidade a aquosos de moderada salinidade e finalmente de baixa salinidade. Usaram microespectroscopia Raman a laser para quantificar os gases voláteis (N_2 , CH_4 , etc) das inclusões fluidas aquocarbônicas que se caracterizam pela quase completa ausência de CH_4 (abaixo de 0,2% mol) e com relação molar CO_2/N_2 na fase carbônica variando entre 4 e 70 e cristalização sob condições isobáricas com temperatura e pressão da ordem de 580°C a 400°C e 3,5kb respectivamente.

5.6 – Zoneamento Regional

A distribuição de pegmatitos na Província Pegmatítica da Borborema e sua relação com a geologia regional motivaram vários autores a propor um zoneamento regional. Dentre eles podemos citar Rolff (1946b), Roy *et al.* (1964) e Cunha e Silva (1981), com destaque para os dois últimos, que serão descritos a seguir.

Roy *et al.* (1964) identificaram um zoneamento regional para os pegmatitos da região, constituído das seguintes idéias:

- a) Zona de pegmatitos produtores de caulim ao redor da cidade de Equador-RN, em um raio de 7 a 8km;
- b) Zona de pegmatitos portadores de cassiterita, subdividida em três regiões: região de Carnaúba dos Dantas-RN, região ao NNE de Juazeirinho-PB, cerca de 10km e região a oeste de Nova Palmeira-PB (Roncadeira – Corredor);
- c) Zona de pegmatitos enriquecidos em minerais de lítio situada na porção oeste da província.
- d) Zona de pegmatitos ricos em minerais de tântalo e berílio situada na região de Malhada da Cruz, município de Currais Novos.
- e) Zona de pegmatitos com Th (monazita) e ETR não bem definida: “parece preferir uma posição isolada, bem a oeste da zona de grande densidade dos pegmatitos mineralizados”.

Em 1981, Cunha e Silva propôs também um modelo de zoneamento conforme mostrado na Figura 5.4, definindo 4 zonas metalíferas, baseando-se nas concentrações predominantes de elementos tais como Sn, ETR, Be, Be-Ta, divididas em distritos, assim distribuídas:

- a) Zona de Terras Raras – situada na parte mais externa da Província, onde ocorrem pegmatitos contendo minerais de terras raras, tais como monazita, allanita, samarskita. Compreende os distritos de São Rafael, Florânia, São Vicente, Coronel Ezequiel, no Rio Grande do Norte, além dos municípios paraibanos de Cubati e São Mamede.
- b) Zona Estanífera – situa-se entre a zona de terras raras e a zona berilífera, caracterizada pela presença de pegmatitos mineralizados em cassiterita e, subordinadamente tantalita. Divide-se nos distritos de Acari no Rio Grande do Norte, e Cariri, Taperoá e Desterro na Paraíba.
- c) Zona Berilífera – é mais interna que a zona estanífera, tendo grande extensão. Seus pegmatitos são mineralizados em berilo, predominando sobre a tantalita. A distribuição se faz por toda a parte sul, leste, nordeste e noroeste da Província.
- d) Zona Berilo-tantalífera – abrange quase toda a região central da Província, com uma predominância de mineralização de tantalita ou columbita sobre berilo.

Nenhum dos modelos de zonação propostos e sumarizados anteriormente definiu o/ou granitos parentais responsáveis pela suposta zonação.

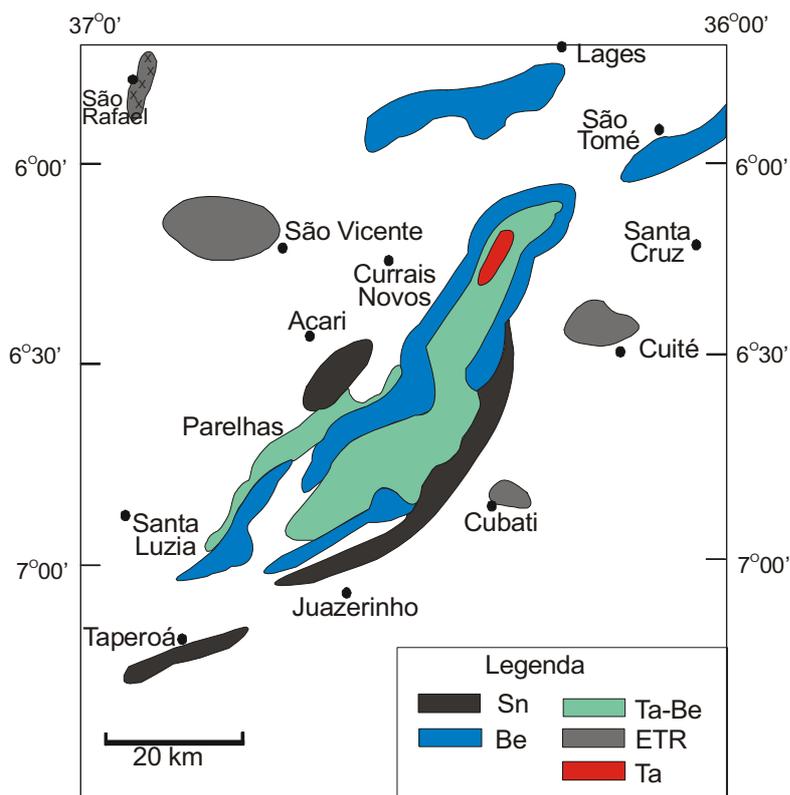


Figura 5.4- Zoneamento regional de pegmatitos da PPB (Cunha e Silva, 1981).

Atualmente há uma grande procura por gemas, principalmente elbaítas, na região do Seridó. Ressente-se a Região de um estudo que agrupe sistematicamente as ocorrências de minerais-gemas por zonas, distritos, ou talvez até subprovíncias gemológicas inseridas na Província Pegmatítica da Borborema (PPB).

CAPÍTULO VI- DESCRIÇÃO DOS PEGMATITOS ESTUDADOS

Os pegmatitos estudados neste trabalho, Boqueirão, Capoeira e Quintos são, de acordo com a classificação de Johnston Jr. (1945a) do tipo heterogêneo, e conforme Černý (1991a), enriquecidos em elementos raros. Estão encaixados nos quartzitos e metaconglomerados da Formação Equador, Faixa de Dobramentos Seridó. Apresentam uma mineralogia acessória bastante diversificada, com grande variedade de minerais. Na Figura 6.1 mostra-se a localização dos pegmatitos estudados, em base geológica simplificada.

Os pegmatitos Boqueirão e Capoeira mostram zoneamento bem nítido, o que não ocorre no pegmatito Quintos, cujo zoneamento é difuso, sendo mascarado por intensos processos de substituição (albitização e lepidolitização). A seguir descreveremos isoladamente cada um dos três corpos pegmatíticos.

6.1 – Pegmatito Boqueirão

Este notável pegmatito, conhecido por Alto Boqueirão, Boqueirão, ou ainda “Alto do Cabeço”, aqui denominado Boqueirão I, começou a ser estudado e lavrado na década de 40 do século passado, em plena II Guerra Mundial. Alguns trabalhos que descrevem este corpo podem ser citados: Johnston Jr. (1945a e 1945b), Murdoch (1958), Farias (1976) e Tavares (2001).

Nos últimos três anos foram retomados os trabalhos de exploração e garimpagem, paralisados há muitos anos, visando a extração de tantalatos (“minério preto”) influenciados pela alta no preço dos mesmos. Também estão sendo extraídas elbaítas-gemas e morganitas-gemas. Neste contexto foram abertos trabalhos mineiros (banquetas) por parte dos garimpeiros em diversas partes do corpo principal, concentrados na parte ESE, bem como em corpos menores, 50 a 100m a sul do mesmo, possivelmente exposições de uma apófise do corpo principal, em profundidade, aqui denominada de Boqueirão II.

Na Figura 6.2 mostra-se um esboço geológico do pegmatito Boqueirão I. A seguir descreve-se a mineralogia e estrutura interna do pegmatito, tomando como base o modelo de zoneamento proposto por Cameron *et al.* (1949).

O pegmatito Boqueirão I (Bi, U, P, Be, Ta-Nb) situa-se 3km a leste da cidade de Parelhas. De acordo com Tavares (2001) as dimensões do corpo principal são de 410m de extensão por 40m de espessura máxima, encaixado discordantemente em metaconglomerados da Formação Equador. Apresenta forma lenticular, com direção geral de 110°Az, com mergulho subvertical para SW. Suas unidades internas, constituídas por zoneamento primário e corpos de substituição são descritas a seguir:

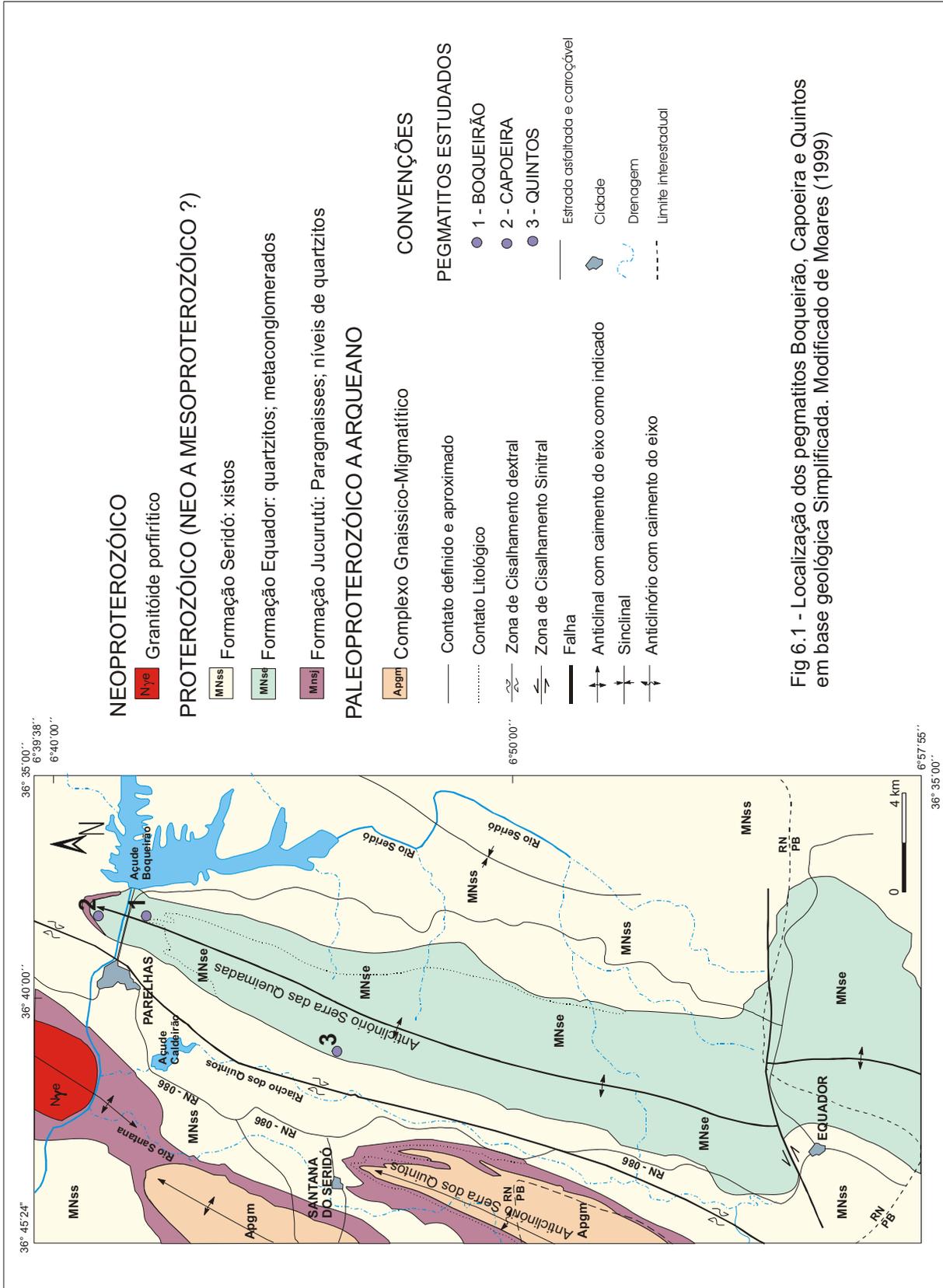


Fig 6.1 - Localização dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos em base geológica Simplificada. Modificado de Moares (1999)

- Zona de Borda (Zona I)

Não se observou a presença de uma zona I típica (textura fina, pequena espessura e a presença de turmalina negra, albita, granada, entre outros minerais), entretanto ela é citada por Johnston Jr. (1945a) como bem desenvolvida em alguns poucos pontos do corpo.

- Zona de Muro (Zona II)

Esta é a zona mais externa do pegmatito, devido à falta de uma zona de contato em quase toda a extensão, constituída basicamente de albita, quartzo, K-feldspato (microclina), muscovita, como minerais essenciais, incluindo como acessórios turmalina preta, além de zircão, granada, titano-magnetita. A granulometria é uniforme com média de 20mm, apresentando às vezes intercrescimento gráfico de quartzo e feldspato. Não se observa a presença de minerais econômicos nesta unidade. Eventualmente ocorrem cavidades miarolíticas nos limites da zona II com a zona III preenchidas principalmente por cristais idiomórficos de quartzo.

- Zona Intermediária (zona III)

Esta zona pode ser, segundo Tavares (2001), subdividida em zona intermediária externa e interna. A zona intermediária externa, em contato com a zona de muro, caracteriza-se pela presença de megacristais de K-feldspato perítico, com quartzo, muscovita, berilo e turmalina preta, subordinados. A zona intermediária interna apresenta uma textura ainda mais grosseira, com predominância de albita, ocorrendo ainda, subordinadamente, quartzo, muscovita, berilo verde ou azul, espodumênio verde claro, granada, esporádicos fosfatos tipo arrojadita, triplita, trifilita. Segundo o mesmo autor a zona intermediária interna pode ser subdividida em fácies A e B, onde esta última, descontínua, caracteriza-se pela presença dos fosfatos em bolsões, bismuto nativo e seus produtos de alteração e uraninita. Megacristais tabulares de espodumênio, com dimensões decimétricas a métricas, desenvolveram-se radialmente do contato da zona intermediária interna em direção ao interior do núcleo de quartzo do pegmatito.

- Núcleo

É constituído principalmente de quartzo leitoso branco e róseo. Bhaskara Rao & Nayak (1965) observaram a presença de pirrotita, calcopirita, calcocita, bismuto nativo e tetraedrita no núcleo do pegmatito como acessórios ocasionais.

- Corpos de Substituição

Um grande corpo de substituição ocorre na porção SE do pegmatito, correspondendo a aproximadamente 30 a 40% de todo o pegmatito. É uma unidade cuja mineralogia e textura são típicos de corpos de substituição (muscovita, fosfatos, granada, albita, elbaíta, lepidolita) não se observando o zoneamento primário típico nem mesmo a presença de núcleo(s) de quartzo porventura existente. Nesta porção o pegmatito é constituído

principalmente de albita, quartzo fumê ou citrino, lepidolita, muscovita, turmalina negra e cristais milimétricos de espessartita, dispersos aleatoriamente. É comum a presença de xenólitos da rocha encaixante, de formas e dimensões variáveis, nesta unidade do pegmatito.

Nesta unidade, cavidades miarolíticas são mais freqüentes que no restante do pegmatito. Têm formas variadas, de pequenas dimensões, chegando no máximo a 0,5m, preenchidas nas bordas por quartzo leitoso, podendo conter no centro cristais idiomórficos de morganita, quartzo azulado ou fumê, muscovita, lepidolita, elbaíta, schorlita, apatita azul e albita, às vezes translúcida. A morganita ocorre sob a forma de cristais euédricos, às vezes biterminados, de dimensões centimétricas a raramente decimétricas, geralmente de cor rosa pálido, passando às vezes a incolor (goshenita), associada preferencialmente a albita e micas tardias, algumas vezes apresentando qualidade gemológica. A albita ocorre formando rosetas centimétricas brancas, às vezes levemente azuladas e transparentes, devido à presença de inclusões aciculares de turmalinas azuis. O quartzo azulado, devido à presença de inclusões aciculares de turmalina predominantemente azul, ocorre sob a forma de cristais prismáticos de dimensões centimétricas a decimétricas, às vezes recoberto em parte por micas tardias em placas milimétricas, quase sempre associado a lepidolita, apatita azul, morganita, quartzo hialino e fume, e muscovita. A apatita ocorre na cor azul, transparente a translúcida, de dimensões milimétricas, algumas com inclusões aciculares de turmalina azul, associada a albita e quartzo azulado. Também ocorrem elbaítas principalmente nas cores azul, rósea, vermelha, verde e cinza, muitas vezes zonadas, de dimensões centimétricas, transparentes a translúcidas, algumas vezes com qualidade gemológica, associadas geralmente a albita, micas tardias e lepidolita.

O pegmatito **Boqueirão II** (Ta-Nb, Be, P), uma provável apófise subparalela, exposta a 90m a sul do corpo principal do pegmatito (Boqueirão I), designado localmente por "banqueta do Jean", com direção de 130°Az, mergulhando com 62° para SW, apresenta um zoneamento clássico, constituído de zona de muro, zona intermediária, núcleo de quartzo e pequenos corpos de substituição. Está sendo trabalhado atualmente para a extração de nióbio-tantalatos e berilo. Ao contrário do corpo principal do pegmatito (Boqueirão I), até o presente momento não produziu elbaítas, minerais de bismuto ou morganita. O estágio atual de trabalhos mineiros, ainda inicial, impossibilita determinar suas reais dimensões, porém possui uma espessura superior a 12m (o contato com os metaconglomerados ao lado N não está exposto). Seu zoneamento pode ser assim descrito:

- Zona de Muro (Zona II)

Esta é a zona mais externa do pegmatito, em contato direto com a encaixante (metaconglomerado) e com a zona intermediária. É constituída basicamente de feldspatos (predominantemente albita), quartzo (esfumado e citrino), muscovita, granada em cristais milimétricos e escassa apatita verde. Sua espessura parece não exceder 3m. Em alguns locais desta zona observa-se a presença de granito gráfico.

- Zona Intermediária (Zona III)

Esta zona apresenta dimensões maiores que todas as outras unidades do pegmatito, chegando a atingir 7m de espessura. É constituída de feldspatos (predominantemente K-feldspato), fosfatos de Fe-Mn-Li formando bolsões centimétricos, nióbio-tantalatos em agregados de cristais idiomórficos tabulares de até 3cm, intercrescidos com K-feldspato, e eventualmente associados a fosfatos, geralmente nas partes mais interiores, e cristais, às vezes cônicos, de berilo verde azulado claro ou amarelo leitoso, isolados ou em arranjos radiais, com até 1m de comprimento, geralmente fraturados ortogonalmente ao eixo "c", ocorrendo geralmente no contato desta zona com o núcleo de quartzo. Reduzida albitização é observada nas partes mais interiores desta unidade. A albita ocorre sob a forma de cristais tabulares brancos, de dimensões centimétricas, próximo ao núcleo, associada a berilo, manganocolumbita e quartzo.

- Núcleo

O núcleo é constituído basicamente de quartzo leitoso branco, com espessura de aproximadamente 5m, bordejado pela zona intermediária e contendo alguns minerais que estão no contato entre as duas unidades (zona intermediária e núcleo), como fosfatos de Fe-Mn e berilo, e também alguma albita e mica tardia devido ao contato desta zona com corpos de substituição.

- Corpos de Substituição

Os "corpos de substituição" correspondem a pequenas unidades tardias sob a forma de bolsões de muscovita e quartzo, em agregados, com grãos de 0,5 a 2cm, sem orientação, ou predominantemente constituídos por albita em agregados lamelares radiais (cleavelandita), de dimensões de aproximadamente 1 a 2m, com contatos lobulados, localizando-se na zona intermediária, ou no contato desta com o núcleo de quartzo (Foto 6.1). Texturas de substituição no contato destes bolsões tanto com a zona III como com o núcleo são evidentes.

O pegmatito Boqueirão I apresenta uma paragênese muito complexa e variada. Nele são encontrados elementos nativos, silicatos, óxidos (inclusive nióbio-tantalatos), fosfatos, carbonatos, molibdatos, sulfetos.



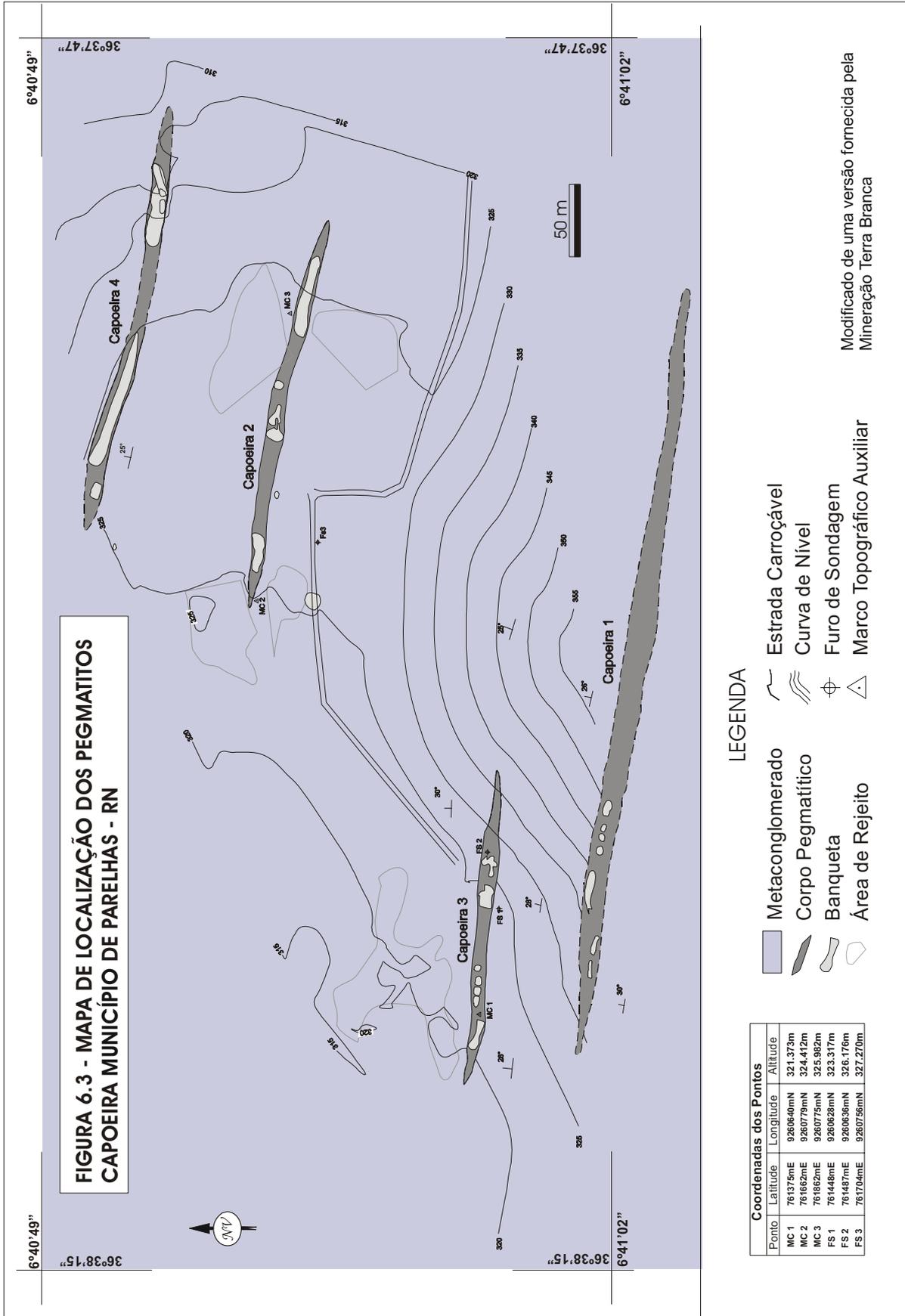
Foto 6.1- Corpo de substituição nos limites da zona III e o núcleo de quartzo no pegmatito Boqueirão I

A partir de dados de Rolff (1946b), Murdoch (1958), Bhaskara Rao & Nayak (1965), Farias (1976) e Tavares (2001), associado com observações de campo, relacionou-se os minerais acessórios que ocorrem no pegmatito Boqueirão I. São eles: ambligonita, allanita, almandina, berilo, bismutinita, bismuto nativo, bornita, calcopirita, cassiterita, caulinita, cianita, columbita, criptomelano, dahllita, dravita, elbaíta, espessartita, espodumênio, estibnita, ferroeosforita, fosfossideritafrondelita, hausmanita, heterosita, hureaulita, ilmenorutilo, jacobsita, lazulita, lepidolita, leucofosfita, litiofilita, manganita, manganolipiscombita, manganovariscita, metatorbernita, metautunita, metavauxita, mitridatita, molibdenita, monetita, neomesselita, pirrotita, rockbridgeíta, sabugalita, schorlita, scorzalita, stewartita, stibiotantalita, tantalita, tavorita, tetraedrita, trifilita, triplita, uraninita, uranofânio, wardita, wilkeíta.

Os minerais acessórios mais abundantes que ocorrem neste pegmatito são, segundo Farias (1976) schorlita, berilo verde claro, tantalita, columbita, cassiterita e espodumênio.

6.2 – Pegmatitos Capoeira

Os pegmatitos Capoeira constituem um grupo de pelo menos quatro corpos paralelos, encaixados discordantemente no metaconglomerado da Formação Equador, com direção geral E-W. Situam-se 2km a NE da cidade de Parelhas, Estado do Rio Grande do Norte, mais precisamente na localidade denominada Mulungu (Figura 6.3). Serão descritos neste trabalho os pegmatitos Capoeira 1, 2 e 3. O pegmatito Capoeira 4 foi pouco trabalhado (garimpagem), estando no momento atual quase que totalmente aterrado, não possibilitando uma amostragem sistemática.



Observa-se, no entanto que este corpo tem uma paragênese mineral semelhante ao pegmatito Capoeira 2, tendo se observado K-feldspato, albita, turmalina preta, granada, quartzo leitoso e fumê.

6.2.1 – Pegmatito Capoeira 1

Foi objeto de garimpagem e mineração semi-mecanizada intensa, visando a extração de feldspato da zona III, completamente desmontada nas partes acessíveis do corpo.

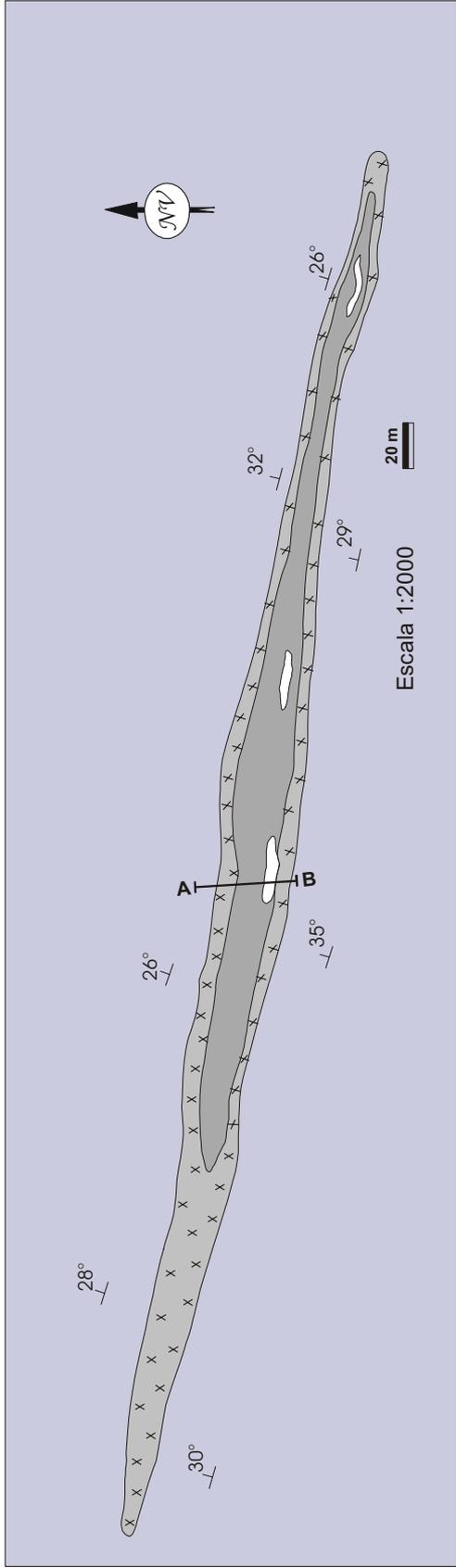
O pegmatito Capoeira 1, também conhecido por Boqueirãozinho (Robinson & Wegner, 1998), possui forma lenticular, com comprimento de aproximadamente 600m e espessura máxima de 30m, com direção E-W e mergulho subvertical para sul como mostra a Figura 6.4, modificada de Bezerra *et al.* (1994). Está encaixado discordantemente no metaconglomerado polimítico da Formação Equador. É um pegmatito heterogêneo, enriquecido em elementos raros, apresentando corpos de substituição e mineralogia diversificada. Dois tipos de unidades foram identificados neste corpo pegmatítico: zonas primárias e corpos de substituição, que serão descritas a seguir:

- Zona de Borda (Zona I)

É a zona mais exterior do pegmatito, em contato direto com o metaconglomerado. Atinge, em alguns pontos uma espessura de 25cm a 30cm. É heterogênea, constituída de bandas de textura e composição variadas, conforme descreve-se a seguir, a partir do contato com a encaixante:

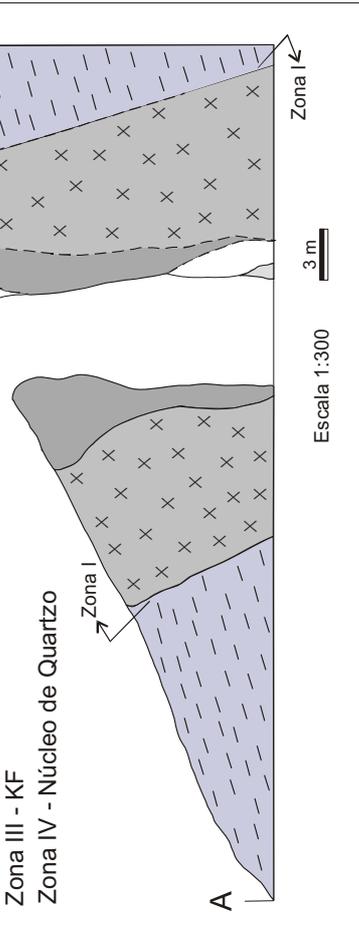
- (a) Uma faixa de textura fina formada de intercrescimento fino de albita, quartzo, K-feldspato e tendo espessartita como principal acessório (até 5%) e eventualmente pequenos grãos de apatita e dravita (<1%), com raras muscovitas.
- (b) Um agregado mais grosseiro constituído de albita, K-feldspato e quartzo, com alguma espessartita, não se observando a presença de micas.
- (c) Uma faixa constituída de um agregado de cristais de espessartita com até 2mm, com K-feldspato, albita e quartzo.
- (d) Uma faixa com espessura de 3 a 10cm, de textura mais grosseira, constituída por intercrescimento de quartzo e feldspatos (K-feldspato e albita), com turmalina preta (dravita, conforme dados de química mineral) sem formar textura gráfica, com cristais de granada cada vez mais raros em direção ao interior do pegmatito.

Figura 6.4 - Esboço Geológico do pegmatito Capoeira 1



Perfil Esquemático NW-SE

- Zona I - Kf + Tur + Gr + Msc + Qz
- Zona II - Kf + Msc + Tur + Gra. + Qz
- Zona III - KF
- Zona IV - Núcleo de Quartzo



Convenções

	—	Contato Observado
	- - -	Contato inferior
	A B	Perfil Geológico

Modificado de Bezerra et.al. (1994)

A dravita forma uma franja de cristais idiomórficos, com diâmetros crescentes, intercrescidos cada vez mais com quartzo e crescendo em direção ao interior do pegmatito em textura tipo pente limitando a zona I da zona II.

- Zona de Muro (Zona II)

Apresenta-se sob a forma de agregado equigranular de albita, K-feldspato, quartzo e muscovita, com granulometria normalmente variando entre 5 a 20mm, com espessura de até 3m. Esta zona caracteriza-se pela presença localizada de blocos de pegmatito gráfico de até 20cm (intercrescimento de quartzo e feldspato), muscovita e alguma dravita, às vezes com arranjos radiais, normalmente sempre orientados para o interior da zona e ocasionais agregados de espessartita (<1mm), ou em bandas, às vezes rítmicas. A muscovita ocorre em placas centimétricas a decimétricas, nas cores verde claro, às vezes castanho, devido a inclusões microscópicas de turmalina preta e dendritos de óxidos de Fe e Mn. A turmalina preta (da série schorlita-dravita) apresenta-se sob a forma de cristais euédricos, de dimensões centimétricas a raramente decimétricas, sem orientação preferencial, pouco alterada e quase sempre bastante fraturada ortogonalmente ao eixo “c”, associada a K-feldspato, quartzo e muscovita. Nesta zona já ocorrem esparsos blocos de K-feldspatos com até 30cm, em intercrescimento gráfico com quartzo.

- Zona Intermediária (Zona III)

Esta é a zona de maior extensão do pegmatito e seu limite com a zona II é geralmente gradativo, com gradual aumento na frequência e dimensão dos blocos de intercrescimento gráfico. Tem espessura de até 15m, com granulação grossa (cristais métricos). É constituída principalmente por grandes blocos de K-feldspato perfitico, às vezes impregnados de dendritos de óxido de manganês, albita, muscovitas em grandes placas e alguns bolsões de quartzo leitoso. Nas porções mais interiores, próximo ao contato com o núcleo, ocorrem bolsões centimétricos a decimétricos de djurleíta, geralmente associada a outros minerais de cobre como bornita, wittichenita, malaquita e crisocola além de muscovita, berilo e fosfatos. Estudos de seção polida sugerem que a djurleíta formou-se por processo hidrotermal tardio, ou por alteração da bornita primária, apresentando inclusões de wittichenita (Cu_3BiS_3). Esta origem secundária da djurleíta está de acordo com o limite máximo de sua estabilidade, abaixo de 94°C.

Observou-se a presença de minerais da série ambligonita-montebrazita de cor branca a levemente azulada, leitoso, no rejeito do pegmatito, que segundo Bezerra *et al.* (1994) ocorre nesta zona, associando-se a espodumênio (Oliveira, 1996). Também berilo verde e morganita estão presentes, não se podendo precisar seu posicionamento dentro desta unidade, bem como suas associações minerais, pois a zona III foi quase totalmente desmontada visando a extração de feldspato.

- Núcleo

O núcleo de quartzo neste pegmatito ocorre de forma descontínua, em lentes ou bolsões métricos a decimétricos sempre limitado ou envolvido pela zona III ou por corpos de substituição. O quartzo dominante é leitoso, ocorrendo ainda em porções significativas, quartzo róseo formando manchas, quartzo fumê e mais raramente, quartzo citrino. O núcleo tem uma espessura máxima de 5m e seus limites com a zona III são nítidos. Segundo Bezerra *et al.* (1994), ocorrem também tantalita, água marinha e bolsões de berilo verde.

- Corpos de Substituição

Os corpos de substituição atingem às vezes dimensões superiores a 5m. São constituídos de micas tardias de coloração esverdeada, em pequenas placas (2 a 20mm), quartzo, albita e mais raramente schorlita subordinada. Os diversos corpos de substituição observados mostram as mesmas características texturais e mineralógicas, com pequenas variações percentuais na sua mineralogia essencial. Sua presença parece ser controlada por fraturamentos posteriores ao alojamento do pegmatito.

Robinson & Wegner (1998) identificaram e estudaram os seguintes minerais acessórios no pegmatito Capoeira 1, distribuídos ao longo de suas diversas unidades: digenita, fluorapatita, litiofilita, triplita, trifilita, triploidita, litiofilita, crandallita, eosforita, crisocola, covellita, malaquita, coronadita, hectorita, berilo, hessita, galena, zircão, pirocloro, uranopirocloro, uranomicrolita, gahnita, manganocolumbita.

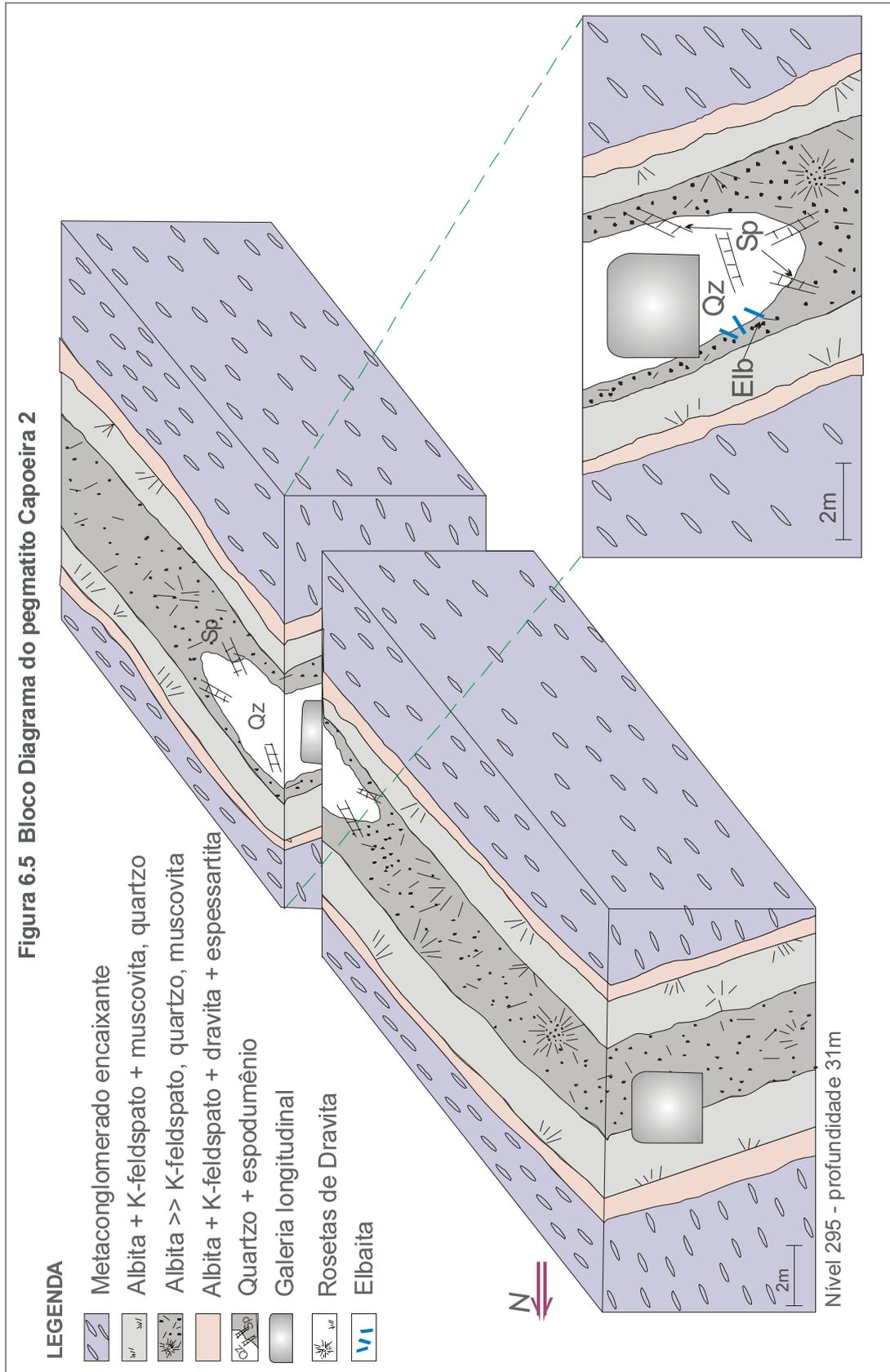
6.2.2 – Pegmatito Capoeira 2

O pegmatito Capoeira 2 tem extensão de aproximadamente 270m, com espessura máxima de 15m, direção geral E-W e mergulho subvertical para sul. Diferentemente do pegmatito Capoeira 1, este pegmatito não apresenta o zoneamento clássico proposto por Johnston Jr. (1945a e 1945b), conforme Figura 6.5. Seu zoneamento consiste de:

- Zona de Borda (Zona I)

A zona I deste pegmatito, do mesmo modo que a zona I dos pegmatitos Capoeira 1 e Quintos é constituída de bandas com espessura, textura e composição variada. Tem espessura que chega a atingir 1m em alguns pontos. A seguir descreve-se as bandas, a partir do contato com a encaixante:

- (a) Faixa de textura fina (< 1mm), em contato direto com a encaixante, constituída de agregados de espessartita, feldspatos e quartzo, com espessura variando entre 0,5 a 1cm. Ocorrem esporadicamente dentro da zona I deste pegmatito cristais milimétricos de apatita. A identificação e separação dos feldspatos pela cor, com



K-feldspato supostamente róseo e plagioclásio branco, a olho nu e sob a lupa, revelou-se impossível visto que tanto a microclina como a albita têm cores variando entre o branco e creme. Isto ficou comprovado tanto por análise ao microscópio ótico como pelos resultados das análises químicas.

- (b) Faixa de textura grosseira (1 a 5cm), com espessura variando entre 20 a 30cm, constituída por intercrescimento de quartzo e feldspatos, contendo alguma muscovita e ocasionalmente espessartita (<1%). Ocorrem ainda esporádicos grãos de dravita, sem mostrar uma orientação predominante.
- (c) Faixa de textura grosseira (1 a 5cm) com quartzo intercrescido com feldspatos e cristais de dravitas que crescem em direção ao interior do pegmatito, algumas vezes formando rosetas, com núcleo constituído de quartzo, feldspato e agregados milimétricos de espessartita, com espessura de 5 a 15cm.

- Zona II

Ocorre em todas as partes do corpo, em contato gradual com a zona I, onde podem ocorrer rosetas de dravitas, conforme Foto 6.2, e com a zona de albita, nas partes inferiores e com a zona I e zona III nas partes superiores. Tem uma espessura máxima de 5m e é constituída basicamente de albita, K-feldspato perítico, muscovita, quartzo, podendo conter raramente alguma gahnita verde e manganocolumbita, que ocorre na massa de feldspato ou como inclusão placosa na gahnita. As muscovitas desta unidade têm dimensões de até 10cm, com coloração cinza a castanha e apesentam dendritos de óxidos de ferro e manganês. Observou-se nova concentração de dravitas, em semi-rosetas, na transição desta zona para a zona de albita.



Foto 6.2- Rosetas de dravita nos limites da zona I com a zona II do Pegmatito Capoeira 2

- Zona III

Ocorre exclusivamente nas porções superiores do corpo pegmatítico, constituída basicamente de blocos de K-feldspato perfitico e albita nas proximidades do núcleo e quartzo hialino ou fumê, em pequenas quantidades. São encontradas cavidades miarolíticas, nas proximidades do núcleo, com dimensões de até 0,5m, contendo elbaítas, minerais de cobre, quartzo incolor, fumê, muitas vezes recobertos por micas tardias. Alguns cristais de quartzo fumê das cavidades contêm grandes inclusões fluidas aquosas, de até 2cm.

- Zona de albita

Esta zona ocorre nas partes inferiores do corpo pegmatítico, com espessura de até 3m, em contato direto com a zona II e o núcleo. É constituída por albita (fase mineral dominante), pouco K-feldspato, quartzo, espessartita, muscovita, elbaíta e espodumênio verde que cresce a partir desta zona em direção ao núcleo. Nesta zona foram observados algumas cavidades miarolíticas de pequenas dimensões (até 20cm) com formas irregulares, constituídas principalmente de quartzo hialino (às vezes recoberto com micas tardias), calcita, apatita e minerais de cobre.

Foram observados cristais idiomórficos de elbaítas crescendo em direção ao núcleo de quartzo, do mesmo modo que ocorre com os cristais de espodumênio.

É a unidade do pegmatito mais propícia para a ocorrência de elbaíta azul turquesa, que forma cristais zonados com cores variadas, com crescimento telescópico, orientado para o interior do núcleo de quartzo, às vezes em agregados radiais.

- Apófises de albita

A observação de uma apófise (Foto 6.3), com dimensões de 1 x 2m, diretamente encaixada no metaconglomerado, formada exclusivamente por albita, quartzo e alguma turmalina negra concentrada no contato, ligada à zona de albita do corpo principal através de um veio albitico (Figura 6.6) no pegmatito Capoeira 2, sugere a possibilidade que corpos

menores de pegmatitos, já mais diferenciados desde o início, possam se formar a partir de corpos maiores, inicialmente menos diferenciados. Isto pode explicar grandes variações mineralógicas e na forma de estruturação entre pegmatitos ocorrendo lado a lado, como é o caso dos pegmatitos Capoeira. É uma prova também de que corpos formados por albita, quartzo e elbaíta nem sempre são de “substituição”, mas podem resultar da cristalização primária de um magma residual de um pegmatito tardio à cristalização das zonas I e II do mesmo, a exemplo do que London (1992) admite também para a formação do próprio núcleo de quartzo, em alternativa à idéia de sua cristalização hidrotermal mais defendida.



Foto 6.3 - Apófise de albita do pegmatito Capoeira 2

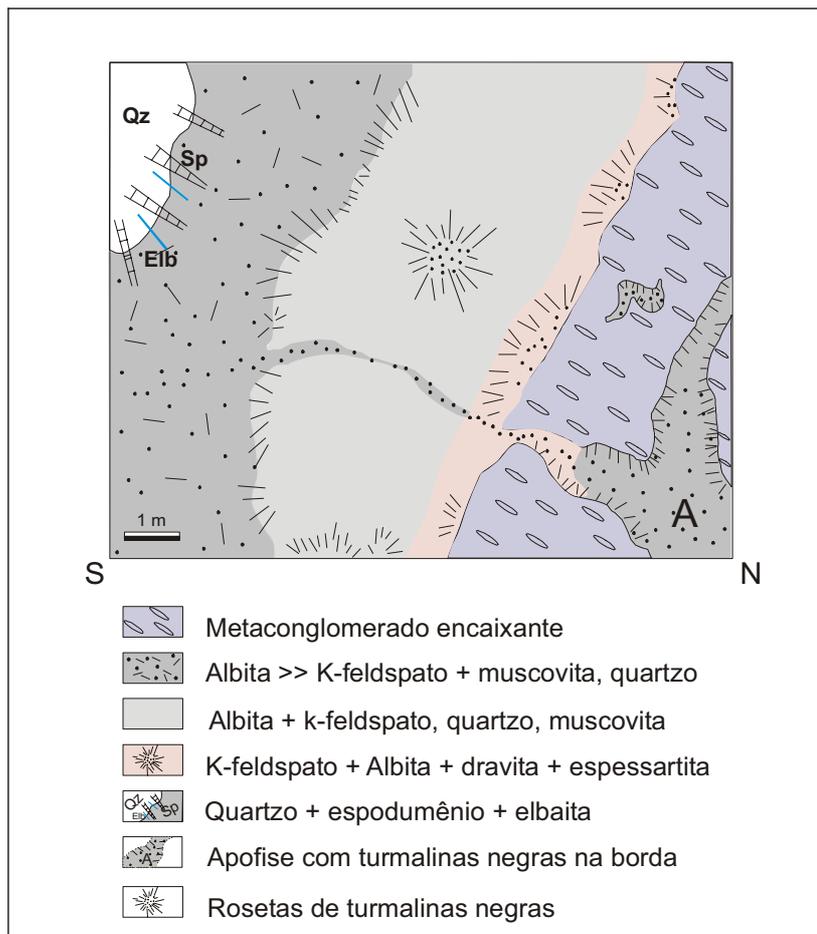


Figura 6.6 – Apófise de albita ligada à zona de albita do pegmatito Capoeira 2 através de um veio albitico, mostrada em corte transversal

- Núcleo

O núcleo ocorre descontinuamente, formando blocos de até 5m, constituído de quartzo leitoso branco, associado a cristais tabulares de espodumênio verde, de até 50cm de comprimento, via de regra bastante alterado, que crescem da zona de albita para o núcleo, ou da zona III para o núcleo. Não foram encontrados outros minerais no núcleo deste pegmatito.

6.2.3 – Pegmatito Capoeira 3

Este pegmatito, no nível da única galeria existente e estudada, constitui-se em um corpo bastante irregular (Figura 6.7), com espessura muito variável, de direção geral E-W com mergulho de 75°N, com extensão aproximada de 200m e espessura máxima de 15m. É constituído essencialmente de albita, K-feldspato, muscovita e quartzo (Foto 6.4), ocorrendo ainda espodumênio, espessartita, dravita, elbaíta e minerais de cobre, principalmente malaquita e epidoto azul claro na zona de contato. Seu zoneamento constitui-se de:

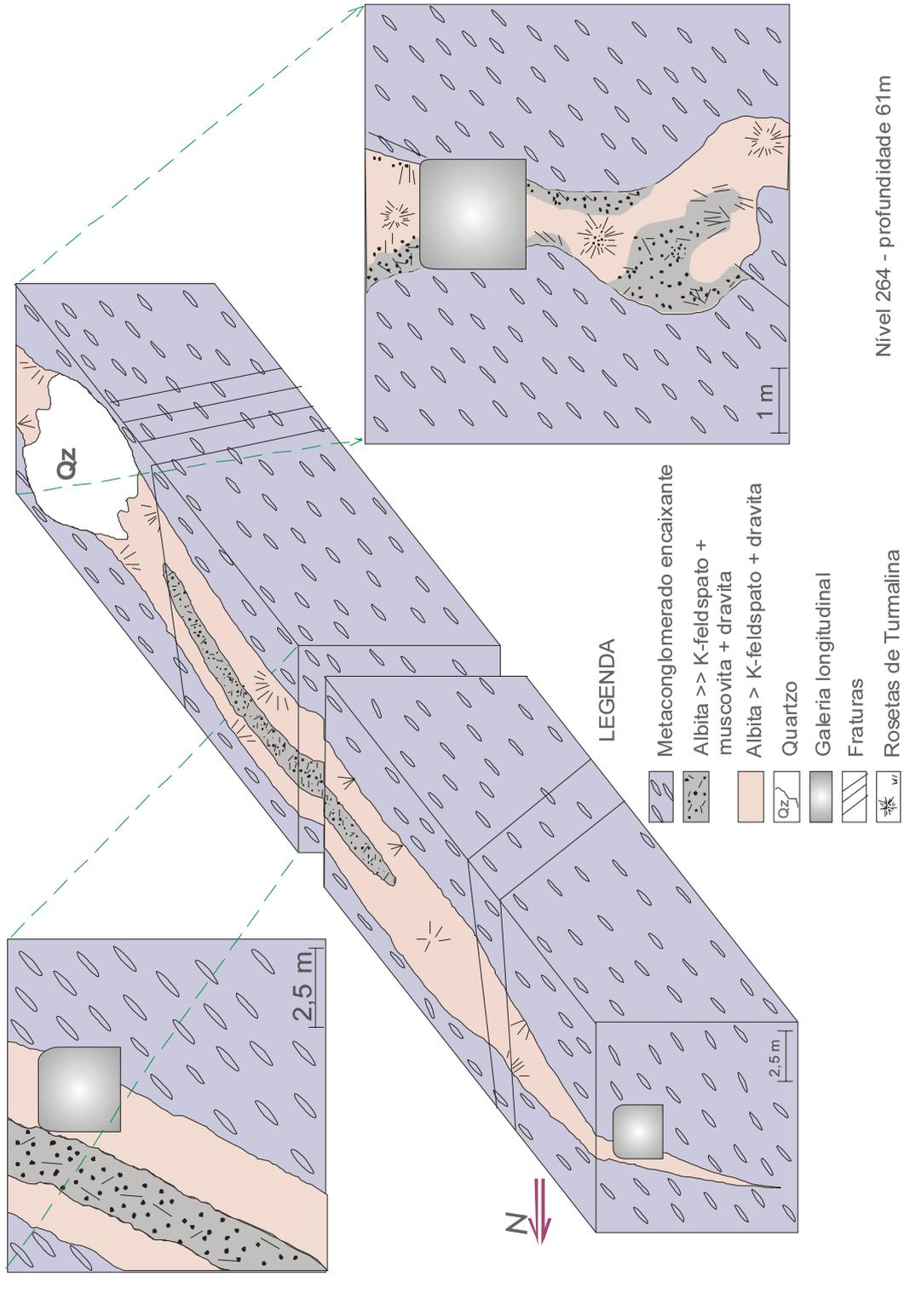
- Zona I

Constituída predominantemente por albita e algum K-feldspato, ambos de coloração rósea, como ocorre no pegmatito Capoeira 2 (Foto 6.4). Ocorrem ainda espessartita, muscovita, dravita e quartzo. A albita ocorre associada a K-feldspato, dravita, granada e quartzo. A dravita ocorre formando uma franja quase contínua dentro da massa de albita e K-feldspato ou normal ao contato do pegmatito com a encaixante ou ainda formando rosetas, sob a forma de cristais centimétricos ou decimétricos, tendo ao centro agregados milimétricos de espessartita, dravita, entre outros minerais. Nesta unidade observa-se a presença de veios de calcita de coloração branca, amarela ou alaranjada com espessura de aproximadamente 10cm, cortando o pegmatito segundo fraturas bastante regulares, longitudinais ao corpo.



Foto 6.4 – Zona I do pegmatito Capoeira 3 na parte exterior à zona de albita (centro), delimitada por uma franja de dravita

Figura 6.7 Bloco diagrama do pegmatito Capoeira 3



- Zona II

É constituída de albita, K-feldspato, quartzo, pouca muscovita e alguma dravita. É uma unidade descontínua, ocorrendo em poucas partes do pegmatito, com espessura máxima de 0,50m, às vezes passando despercebida. Seus limites com a zona I e com apófises de albita são graduais e seus contornos são irregulares. Ao contrário do que ocorre na zona I, as dravitas não mostram uma orientação preferencial no interior da zona, mas se concentram no contato com a zona de albita, podendo formar franjas em pente ou rosetas, como já descrito nos pegmatitos Capoeira 1 e 2, com cristais euédricos de dimensões de 2 a 5cm, de coloração preta característica.

- Zona de Albita

É constituída basicamente de albita, quartzo, com algum K-feldspato, muscovita, espodumênio, litiofilita e minerais de cobre. A albita é o mineral predominante nesta unidade, ocorrendo com colorações branca ou levemente esverdeada. O espodumênio ocorre nas cores verde escuro, verde claro, róseo ou cinza, associado com quartzo hialino ou leitoso e albita, formando prismas euédricos estriados, de dimensões centimétricas a decimétricas, geralmente alterado, como no pegmatito Capoeira 2, sendo mais freqüente nos limites da zona de albita com bolsões de quartzo. Os minerais de cobre, principalmente malaquita e outros produtos de alteração de sulfetos de cobre, ocorrem em pequenas cavidades miarolíticas irregulares de até 10cm na massa de albita, possivelmente responsáveis pela coloração esverdeada da mesma, em alguns pontos. Esta zona tem espessura de, no máximo, 2m e pode ocorrer nas porções mais centrais do corpo, ou mesmo próximo às bordas.

- Núcleo

É constituído de pequenos bolsões de quartzo de até aproximadamente 2m de quartzo, geralmente hialino ou leitoso. Às vezes estão inclusos no núcleo cristais tabulares de espodumênio, crescendo radialmente a partir da zona de albita. Também se observa escassos cristais milimétricos a centimétricos de dravita sem mostrar uma orientação preferencial de cristalização. Em alguns locais do pegmatito, o núcleo atinge 6m de espessura e está em contato direto com o conglomerado e com as zonas I, II e de albita.

A partir de observações de campo, análises químicas realizadas e dados de Robinson & Wegner (1998), ficou evidente que os pegmatitos Capoeira mostram grande diversidade mineralógica, com significativa diferença entre os três corpos estudados. O pegmatito Capoeira 1 não é produtor de elbaíta, ao contrário dos pegmatitos Capoeira 2 e 3. O pegmatito Capoeira 1 é portador de minerais como berilo (variedades verde e morganita) e schorlita, além de uma razoável quantidade de fosfatos (triplita, litiofilita, amblygonita-montebrazita, entre outros), que normalmente não ocorrem, ou ocorrem em quantidades irrelevantes nos pegmatitos Capoeira 2 e 3.

A turmalina negra ocorre em quantidades relativamente maiores nos pegmatitos Capoeira 2 e 3, do que no pegmatito Capoeira 1, distribuindo-se em todas as zonas.

Nos pegmatitos Capoeira as muscovitas das zonas I e II, de coloração amarronzada, com freqüentes dendritos de óxidos de ferro e manganês, são diferentes das que ocorrem nas zonas da albita, onde estes dendritos não foram observados. As muscovitas dos corpos de substituição, assim como as da zona de albita, são de coloração esverdeada e não apresentam dendritos como as da zona I e II.

6.3 – Pegmatito Quintos

O pegmatito Quintos localiza-se 9km a SW da cidade de Parelhas, na localidade de Quintos de Baixo. Aflora no flanco oeste da serra das Queimadas, com dimensões aproximadas de 150m de comprimento por 20m de espessura máxima.

Trata-se de um corpo heterogêneo, encaixado discordantemente nos quartzitos da Formação Equador, com direção geral de 10°NE e mergulho subvertical para leste (Figura 6.8). A mineralogia essencial do pegmatito dos Quintos é constituída de quartzo, microclina, albita e muscovita. A mineralogia acessória inclui berilo verde e róseo, espodumênio (caulinizado), dravita, elbaíta, lepidolita, gahnita, manganocolumbita, Ti-ixiolita, fersmita, uranomicrolita, apatita, espessartita, zircão, cookeíta, brannerita, magnetita, ilmenita, entre outros (alguns espectros MEV no Anexo VII). De um modo geral o pegmatito Quintos é pobre em fosfatos (alguma apatita e litiofilita), tendo sido observados poucos minerais de cobre (alguma malaquita), ao contrário da maioria dos pegmatitos portadores de elbaíta azul turquesa, que são ricos em minerais de cobre. Seu zoneamento consiste de:

- Zona I

Esta zona ocorre descontinuamente no pegmatito, com espessura variando entre 0 a 15cm. Textural e composicionalmente é heterogênea, constituída de bandas, conforme descritas a seguir, a partir do contato do pegmatito com a rocha encaixante:

- a) Uma faixa de textura equigranular fina (até 2mm), com espessura variando entre 1 a 5cm, constituída principalmente de dravita (30%), albita (15%), quartzo (50%) e muscovita ($\pm 5\%$). Ocorrem ainda magnetita inclusa no quartzo, zircão e apatita verde.
- b) Uma faixa de textura normalmente mais grosseira que a anterior com espessura variando entre 5 e 10cm, constituída principalmente de quartzo (30%), cristais prismáticos de dravita (40%) com eixo “c” ortogonal ao contato, crescendo em pente em direção ao interior do pegmatito, albita, (10 a 30%), K-feldspato róseo (5 a 15%) e apatita verde ($\pm 5\%$). Granada (espessartita) e zircão, em grãos submilimétricos ocorrem como inclusões nos outros minerais. O quartzo ocorre intercrescido com albita e K-feldspato, mas sem se configurar como granito gráfico. O teor de turmalina e quartzo cresce às expensas dos feldspatos, em direção ao interior do pegmatito.

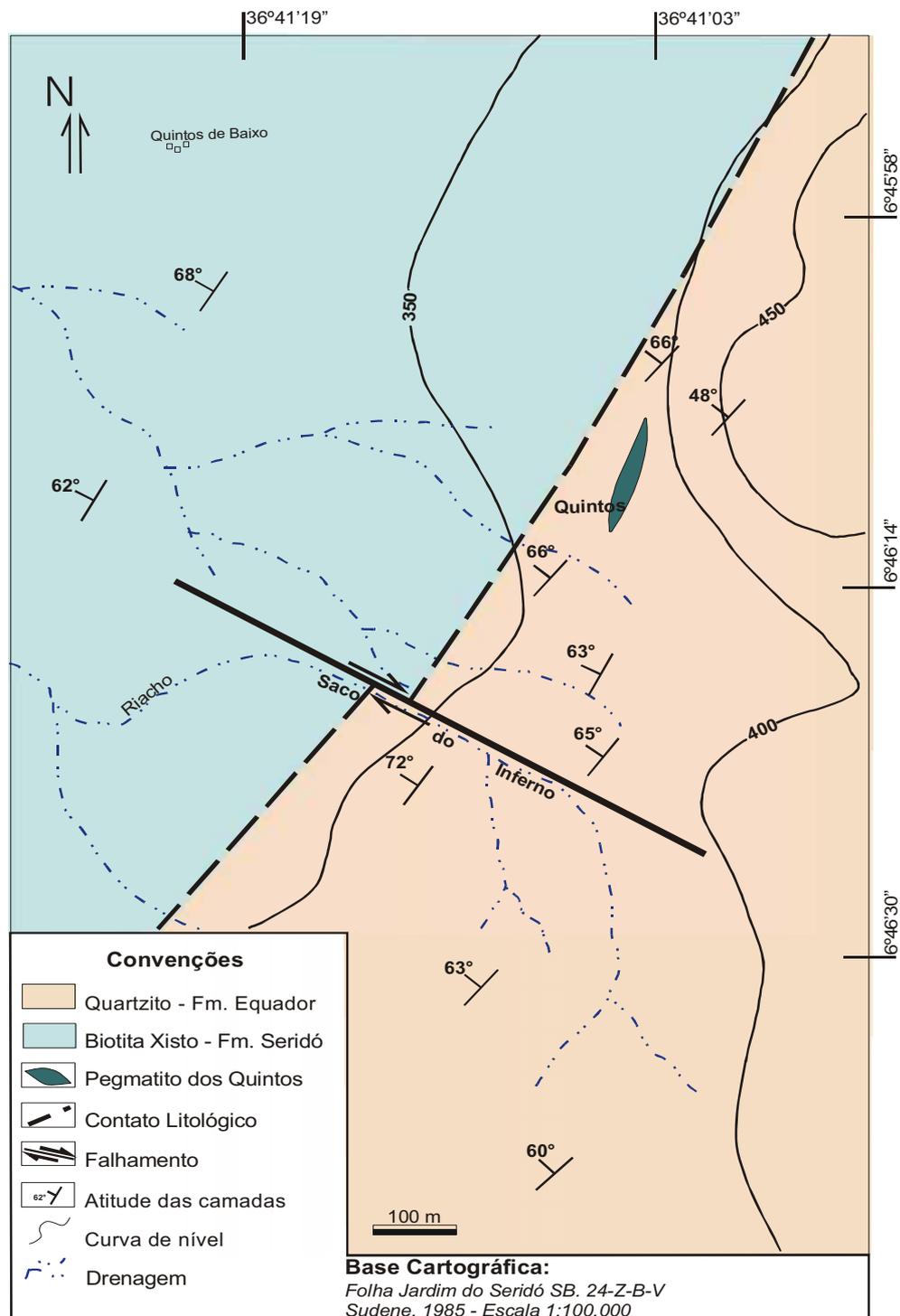


Figura 6.8 – Esboço geológico dos arredores do pegmatito Quintos

- Zona II

A zona II é mascarada em parte por processos de substituição (albitização e lepidolitização), não permitindo se estabelecer seu contato com a provável zona III, também afetada pelos mesmos processos.

Entretanto no limite da zona II com a zona I observa-se a interrupção do crescimento dos cristais de turmalina, passando o pegmatito a ser constituído essencialmente por K-feldspato, albita, quartzo e placas milimétricas a centimétricas de micas de coloração esverdeada ou rósea, com turmalina passando a ocorrer como acessório subordinado, sob a forma de esporádicos grãos prismáticos longos.

Observou-se a ocorrência de Ti-ixiolita e brannerita, em cristais milimétricos idiomórficos intercrescidos com feldspato, quartzo ou mica.

- Porções Centrais

Nas porções centrais do pegmatito ocorrem lentes de quartzo branco leitoso, com dimensões de até 3m. Ao redor destas lentes de quartzo, o que corresponderia a uma zona III, ocorrem massas de K-feldspato formando cristais decimétricos e albita aos quais se associam principalmente elbaíta, espessartita, gahnita, berilos (verde leitoso e morganita), espodumênio, e autunita. Os feldspatos e turmalina são em parte lepidolitizados. Não se trata, pois, de uma zona III típica, pela mineralogia variada e ausência de domínio de cristais gigantes de K-feldspatos, como em outros pegmatitos.

Também nas partes mais interiores ocorrem cavidades miarolíticas preenchidas por cristais centimétricos a decimétricos de quartzo esfumaçado, às vezes são recobertos por placas milimétricas de cookeíta. A seguir descreve-se alguns dos principais minerais que ocorrem neste pegmatito.

As Elbaítas ocorrem principalmente no “contato” da zona III com bolsões de quartzo centrais, sob a forma de cristais euédricos, ligeiramente cônicos, formando arranjos radiais, crescendo em direção ao quartzo (na base mais estreita intercrescida com albita placosa e no topo, já no quartzo, geralmente com diâmetro maior e com terminação pinacoidal perfeita, à qual se amoldam os outros minerais), com dimensões que chegam a atingir 50cm, exibindo quase sempre fraturas normais ao eixo “c”, com a lepidolitização mais intensa nos núcleos róseos, frequentemente envolvidos pela elbaíta azul a verde, preservada nas bordas dos cristais. Ocorrem geralmente nas porções mais inferiores do corpo sob a forma de cristais multicoloridos, exibindo zoneamento de cores muito nítido, com a porção central dos cristais geralmente ocupada por uma faixa rósea/vermelha (Fotos 6.5 e 6.6).

As dravitas ocorrem na zona I do pegmatito associada a albita, K-feldspato e quartzo, às vezes intercrescida com estes minerais e nas partes mais interiores do pegmatito, ocorrem associadas a albita e quartzo.

Este pegmatito foi lavrado na década de 80 para extração de berilo devido ao grande enriquecimento deste mineral nos níveis topográficos mais superiores. O berilo que ocorre com maior frequência nas partes superiores do pegmatito é leitoso de coloração verde claro, associado à microclina, quartzo e caulim. Nas partes inferiores do corpo ocorre em menor

frequência e sob a forma de morganita, bastante fraturada, de dimensões centimétricas a decimétricas associada a albita e quartzo, não apresentando qualidade gemológica.

Mica rósea a lilás, provavelmente lepidolita, ocorre em grandes quantidades no pegmatito, principalmente como lepidolita primária, em cristais centimétricos, ou como produto de transformação das elbaítas, geralmente associada a albita e muscovita.

O espodumênio, quase sempre caulinizado, ocorre sob a forma de cristais euédricos nas cores verde, púrpura ou cinza, como cristais tabulares de até 30cm, geralmente associado com albita, elbaíta e turmalina negra, preferencialmente nas porções centrais do corpo.

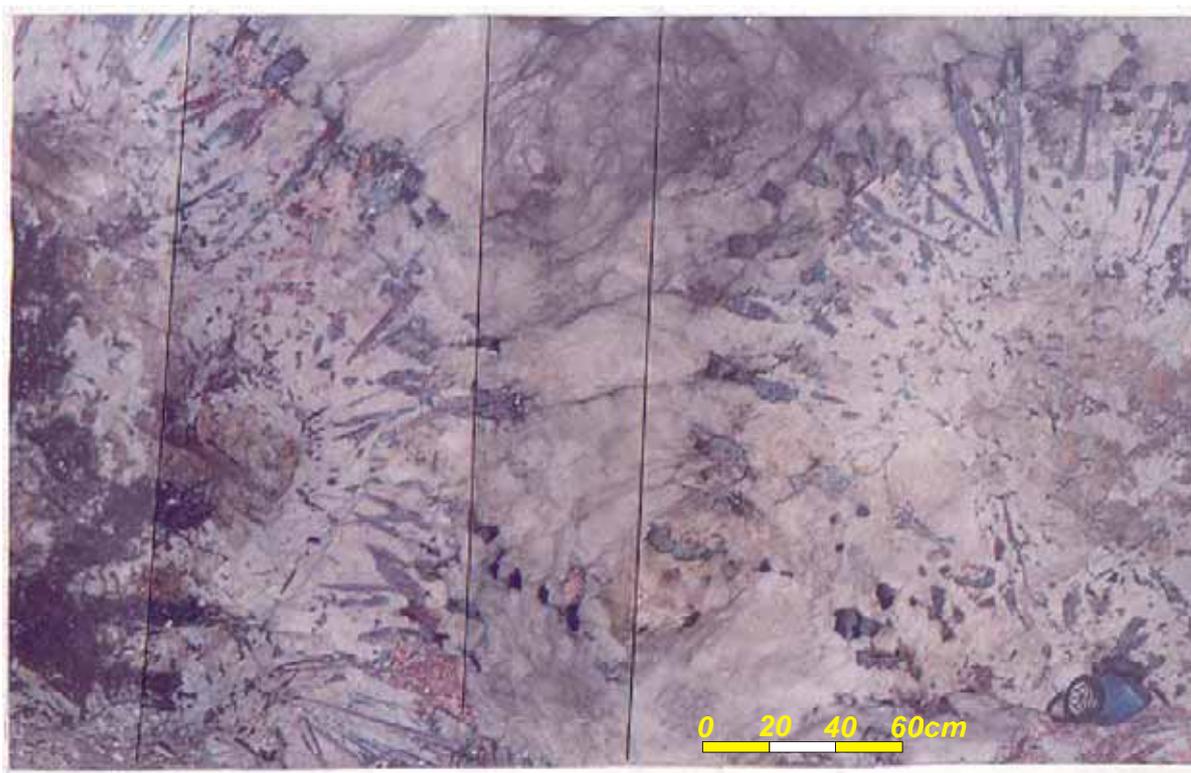


Foto 6.5 – Montagem fotográfica do arranjo radial de elbaítas no pegmatito Quintos, mostrando seu crescimento em direção ao núcleo de quartzo do pegmatito Quintos (Foto gentilmente cedida por Sandra de Brito Barreto)

A gahnita ocorre geralmente nas porções centrais do pegmatito, na cor verde limão ou verde esmeralda, transparente a translúcida, em cristais euédricos, milimétricos a centimétricos, apresentando muitas fraturas. Associa-se a albita, muscovita, lepidolita, espessartita e quartzo.

Ocorrem ainda neste pegmatito uraninita (como inclusão em Ti-ixiolita), rutherfordita e autunita (como alteração de uraninita), brannerita (metamítica, com microtextura pseudocolomórfica a nodular), fersmita, cesstibantita/natrobiantita, Ca-Mn-columbita.

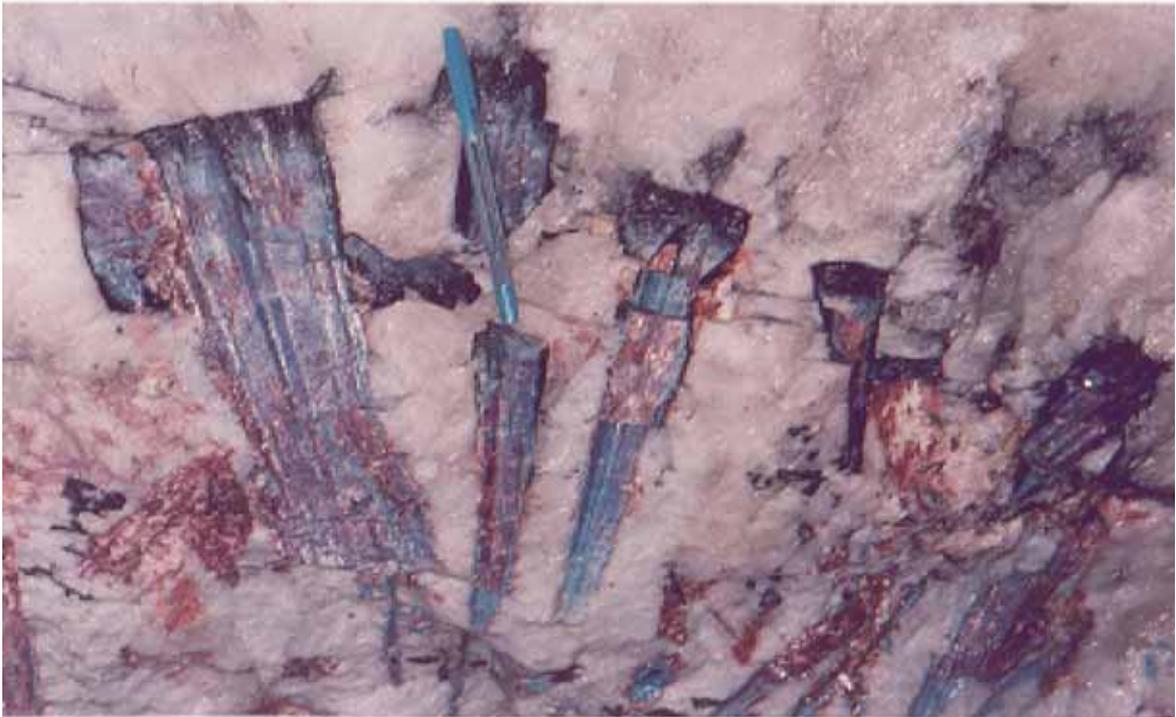


Foto 6.6 – Detalhe do arranjo rarial de elbaítas multicoloridas no pegmatito Quintos, crescendo a partir de uma massa de albita em direção o núcleo de quartzo (Foto gentilmente cedida por Sandra de Brito Barreto)

CAPÍTULO VII- ESTUDO DE INCLUSÕES FLUIDAS

7.1 – Origem e Significado das Inclusões Fluidas

O estudo de inclusões fluidas (IF) tem dado uma importante contribuição para o avanço do conhecimento de petrologia e geologia econômica e, em particular, da gênese dos pegmatitos. Os primeiros estudos de inclusões fluidas em pegmatitos foram desenvolvidos por Cameron *et al.* (1951).

A denominação “inclusão fluida” abrange não apenas as inclusões com fases líquidas e gasosas, mas também aquelas que, associadas às fases atualmente fluidas, contêm uma ou mais fases sólidas e ainda inclusões hoje predominantemente sólidas, mas formadas de fusões magmáticas (atualmente vidro recristalizado ou não, de sulfetos, etc.) Entre as fases líquidas há normalmente uma predominância de H₂O, embora a presença de CO₂ ou hidrocarbonetos não sejam incomuns. As substâncias gasosas mais comuns são H₂O (vapor), CO₂ (líquido ou vapor), CO, CH₄, N₂, SO₂, H₂S e H₂. As fases sólidas mais comuns são cloretos de sódio, potássio, cálcio e magnésio como cristais de saturação formados após as inclusões, além de inclusões acidentais como silicatos (Fuzikawa 1985).

As irregularidades nas superfícies de crescimento de minerais, provocadas por fatores diversos, tais como a presença de impurezas e suprimento irregular de materiais, entre outros, podem aprisionar fluidos após o seu fechamento. A esse tipo se incluem as inclusões, formadas durante o crescimento do cristal hospedeiro, denomina-se de “primária”. Após o final da cristalização do mineral, como consequência de esforços diversos, pode ocorrer fraturamento, penetração de fluidos e posterior cicatrização, originando inclusões “secundárias”. Inclusões fluidas que foram aprisionadas durante a cicatrização de fraturas que se desenvolveram durante o crescimento de um mineral são conhecidas como “pseudo-secundárias” (Roedder, 1984).

As inclusões primárias, quando esta condição é comprovada e garantida a sua preservação sem modificações, permitem a obtenção de dados sobre os fluidos e as condições físico-químicas existentes durante a formação do mineral estudado (P, V, X, T: pressão, volume molar, composição e temperatura) e, portanto da rocha. As inclusões secundárias podem ajudar a caracterizar eventos ocorridos após a formação de minerais ou rochas que as contêm.

Inclusões fluidas em minerais de pegmatitos da família LCT contêm principalmente líquidos aquosos de baixa salinidade, enquanto que os pegmatitos da família NYF contêm fluidos hipersalinos, com diversas assembléias de “daughter minerals” (minerais de saturação) e com salinidades maiores que as inclusões dos pegmatitos LCT (London, 1996).

Minerais de pegmatitos da família LCT como Tanco, por exemplo, apresentam IF com salinidade variando entre 7 a 10%NaCleq. em peso (Thomas *et al.*, 1988) e pegmatitos mirolíticos do Afeganistão, com salinidade de $\pm 15\%$ NaCleq. em peso (London, 1986); são alguns exemplos que podem ser citados. Torna-se entretanto muito difícil correlacionar a salinidade com as diversas categorias de pegmatitos das famílias NYF e LCT. Alguns importantes trabalhos versando sobre inclusões fluidas podem ser citados: Cameron *et al.* (1951), Roedder (1984), Thomas *et al.* (1988), Thomas & Spooner (1992), Thomas (2000), Thomas *et al.* (2000), Thomas *et al.* (2003).

7.2 – Descrição e Classificação das Inclusões Fluidas Estudadas

Beurlen *et al.* (1997, 1998, 2000, 2001a, 2001b) estudaram, através de microtermometria, o comportamento dos fluidos envolvidos na cristalização de alguns pegmatitos da região do Seridó. Realizaram estudos em várias fases minerais tais como quartzo (principalmente), turmalina, granada, apatita, euclásio, morganita, manganotantalita, distribuídas em várias unidades (zonas I, II, III, IV, corpos de substituição) nos “altos” Boqueirão, Mamões, Capoeira e Quintos.

Associando características petrográficas com dados microtermométricos obtidos, Beurlen *et al.* (2001) propuseram uma classificação para as inclusões fluidas presentes nos minerais dos pegmatitos da região. Esta classificação será adotada nesta tese, conforme descrita a seguir:

Tipo A: são inclusões aquocarbônicas primárias (2 líquidos + vapor \pm sólido) que ocorrem com dimensões superiores a $20\mu\text{m}$, freqüentemente com formas de cristais negativos, com sólidos aprisionados acidentalmente. Ocorrem isoladamente, ou em grupos, no núcleo de quartzo, em granadas, turmalinas negras, morganita, manganotantalitas. Inclusões secundárias e raramente primárias, com as mesmas características ocorrem em grãos de quartzo das zonas I, II e III dos pegmatitos. As razões volumétricas $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{O}$ são estimadas em aproximadamente 1,0

Tipo B: são inclusões aquosas (líquido + vapor \pm sólido), com baixo CO_2 na fase vapor, detectado apenas pela formação de clatrato ($\text{CO}_2 \cdot 5 \frac{3}{4}\text{H}_2\text{O}$) nos “runs” de aquecimento-resfriamento, indicando a presença de CO_2 na fase vapor. Mostram forma de cristais negativos, ou ovais, com dimensões de aproximadamente $15\mu\text{m}$;

Tipo C: são inclusões aquosas (líquido + vapor \pm sólido), em sucessivas zonas de crescimento dos cristais de quartzo ao redor dos núcleos com inclusões do tipo A, ocorrendo também em trilhas, com dimensões de 3 a $10\mu\text{m}$, de formas tabulares ou irregulares. Os subtipos Ca, Cb e Cc podem ser distintos com base na diminuição das temperaturas de homogeneização, e, respectivamente por salinidades baixas, moderadas e muito baixas;

Tipo D: são inclusões aquosas ou aquocarbônicas, de formas muito irregulares e grandes variações nas dimensões (3 a 50 μ m), na temperatura de homogeneização e nas relações volumétricas CO₂/H₂O. Ocorrem geralmente em trilhas secundárias, e raramente como IF primárias apenas nas zonas de crescimento mais externas (tardias) de alguns cristais de quartzo.

Os tipos de inclusões descritos anteriormente estão relacionados com os vários estágios de cristalização dos pegmatitos da PPB, conforme descrito a seguir.

- Tendo em vista que as inclusões do tipo A ocorrem como inclusões primárias em pequenos cristais de granada, turmalina e outros minerais nos limites das zonas I e II de alguns pegmatitos, estes fluidos são precoces e coexistiram em equilíbrio com o magma pegmatítico desde o início da cristalização do pegmatito até o início da cristalização da zona II, podendo estar presentes até o início da cristalização da zona III.

- As inclusões do tipo B, com muito baixo conteúdo de CO₂, podem estar presentes no final da cristalização da zona III, já que ocorrem como inclusões primárias em núcleos de cristais de quartzo, em bolsões e na zona IV (núcleo) de pegmatitos.

- As inclusões do tipo C (subtipos Ca, Cb, Cc) ocorrem em sucessivas zonas de crescimento de cristais de quartzo, indicando a presença de um fluido pobre em CO₂, inicialmente com baixa salinidade (Ca), seguido de moderada salinidade (Cb) e novamente baixa salinidade (Cc). As inclusões do subtipo Cb provavelmente representam o principal fluido presente durante a formação dos corpos de substituição, estando hospedadas, quando primárias tanto em cristais de euclásio como em zonas de crescimento de cristais de quartzo ricas em inclusões de muscovita, albita, apatita e lepidolita (associação típica de corpos de substituição).

- As inclusões Cc e D podem, em princípio, representar fluidos hidrotermais residuais, ou introduzidas em condições *subsolidus*, relacionados ou não com a mesma fonte magmática do pegmatito.

Em vários cristais de quartzo as inclusões do tipo A ocorrem nos núcleos, seguidas pelos tipos B, Ca, Cb e Cc, em sucessivas zonas de crescimento em cristal bipiramidal de quartzo do pegmatito Capoeira, a exemplo do cristal bipiramidal de quartzo do pegmatito Capoeira 1, mostrado na Figura 7.1. Normalmente observa-se um decréscimo contínuo e sistemático nas temperaturas de homogeneização nestes tipos de inclusões, acompanhado por salinidades que oscilam entre baixa (tipos Ca e Cc) e moderada (Cb).

As inclusões fluidas estudadas neste trabalho em amostras dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira 1 e Quintos serão descritas a seguir.

7.2.1 - Inclusões Fluidas no Pegmatito Boqueirão

No pegmatito Boqueirão foram estudadas microtermometricamente inclusões fluidas em grãos de quartzo no centro da zona II e em cristais de cavidades miarolíticas nos limites entre as zonas II e III e da zona III apresentando inclusões fluidas dos seguintes tipos:

a) Quartzo

Tipo A – inclusões primárias, contendo poucos sólidos, quase sempre anisotrópicos, apresentando forma de cristais negativos ou irregulares, com dimensões de aproximadamente 20 a 30µm. Contêm aproximadamente 50% de CO₂(l), tipo B, Tipo Ca, Cb e Cc. Na Tabela 7.1 são sumarizados os dados das IF dos pegmatitos estudados.

Tipo B – Inclusões pseudo-secundárias compostas de L+V, com temperaturas de homogeneização entre 240 a 280°C e salinidade de 2 a 6% de NaCleq., restrita aos núcleos esfumaçados de quartzos zonados.

Tipo C – As inclusões tipos Ca, Cb e Cc ocorrem ao longo de sucessivas zonas de crescimento de cristais de quartzo, de formas variadas e dimensões variando entre 20 e 30µm.

7.2.2 – Inclusões Fluidas nos Pegmatitos Capoeira

Foram estudadas inclusões fluidas apenas no pegmatito Capoeira 1, em quartzo e turmalina conforme descrito a seguir.

a) Turmalina

A turmalina da zona I, limite com a zona II, ocorre intercrescida com quartzo e granada, turmalina da zona II e turmalina da zona II, limite com a zona III. Apresentam inclusões fluidas do tipo A, assim descrita:

Tipo A – inclusões primárias contendo $L_1 + L_2 + V \pm S$, ocorrendo em grupos isolados, com forma de cristais negativos. Contêm aproximadamente 50 a 60% em volume de CO₂ (l), com dimensões de 20 a 30µm. Não foi possível medir as temperaturas de homogeneização, pois as inclusões decrepitarão a 230°C, sem homogeneizar.

b) Quartzo

O quartzo incolor associado com muscovita, apatita e mica tardia e sobrecrecendo a um núcleo de quartzo esfumaçado apresenta inclusões fluidas do tipo A e B no núcleo dos cristais, seguidas de inclusões dos tipos Ca e Cb.

Tipo A - inclusões primárias e pseudo-secundárias, com forma de cristais negativos, ou irregulares (no quartzo esfumaçado), com dimensões variando entre 20 a 50µm, com poucos sólidos aprisionados acidentalmente. Estes quando ocorrem são geralmente isotrópicos.

Tipo B – ocorrem no núcleo de quartzo, ladeando IF do tipo A, com formas de cristais negativos e dimensões de 30µm, podendo conter sólidos aprisionados acidentalmente.

Tipos C – ocorrem em sucessivas zonas de crescimento de cristais de quartzo, às vezes formando trilhas, geralmente com dimensões de 20 μ m, podendo conter micas como fase sólida aprisionada acidentalmente.

A seguir, na Figura 7.1, mostra-se um cristal bipiramidal de quartzo de um corpo de substituição do pegmatito Capoeira 1, com diversos tipos de IF, registrando os vários estágios de cristalização e evolução dos fluidos.

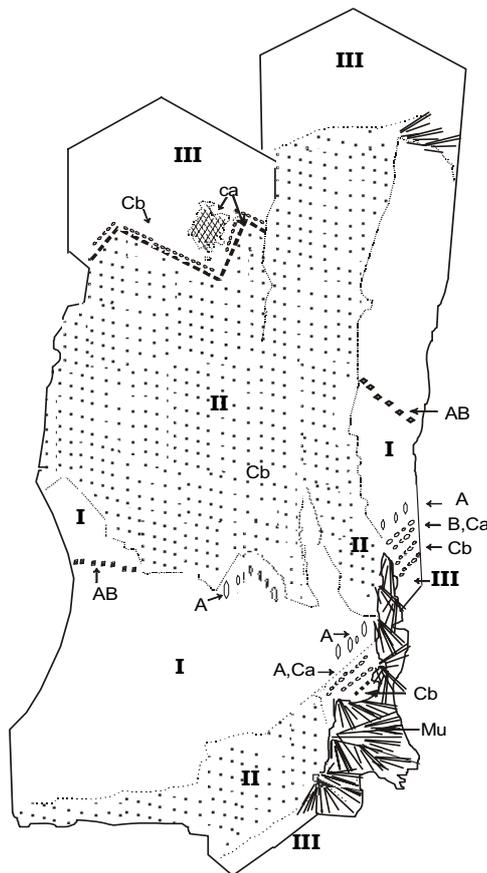


Figura 7.1– Cristal bipiramidal de quartzo (2 cm de comprimento) de um corpo de substituição do pegmatito Capoeira 1 registrando vários estágios de cristalização e evolução de fluidos: I) núcleo de quartzo esfumaçado com inclusões fluidas do tipo A, distribuídas ao longo de zonas de crescimento do cristal (A) e com trilhas pseudo-secundárias de inclusões fluidas do tipo A, B e Ca (AB); o contato com a segunda zona do quartzo (II) é marcado por pequenas lamelas de muscovita e corrosão das faces do núcleo do cristal. II) zona de quartzo leitoso com inclusões de plaquetas de muscovita e inclusões fluidas primárias e pseudo-secundárias do tipo Cb e secundárias do tipo Cc. III) zona externa de quartzo hialino, com sucessivas zonas de crescimento piramidal e prismáticas contendo inclusões fluidas primárias do tipo B, Ca e Cb agrupadas em zonas dispostas nesta ordem do núcleo para a borda. Novamente observa-se a corrosão das faces da zona II do cristal marcado por crescimento de agregados radiais de muscovita (Mu) e micro-romboedros de calcita (ca). Este estágio supõe-se corresponder ao início da formação do corpo de substituição. Fonte: Beurlen *et al.* (2001b)

c) Apatita

A apatita estudada ocorre como inclusões em zona de crescimento de cristal de quartzo fumê, coletado nos limites da zona III com corpos de substituição do pegmatito, associada com micas tardias, em cristais idiomórficos azuis, zonados, geralmente com bordas incolores. Apresenta inclusões primárias ou pseudosecundárias do tipo Cb.

As inclusões do Tipo Cb ocorrem ao longo de zonas de crescimento ou nas partes mais centrais dos cristais de apatita, com dimensões de aproximadamente 15 μ m, e apresentam moderada salinidade.

7.2.3 - Inclusões Fluidas no Pegmatito Quintos

Neste pegmatito foram estudadas petrograficamente e microtermometricamente as seguintes fases minerais contendo IF de diversos tipos, conforme descrito a seguir:

a) Quartzo 1

O quartzo em questão ocorre na zona de contato do pegmatito (zona I) é hialino, intercrescido com dravita, K-feldspato e apatita e associa-se ainda a zircão, plagioclásio e opacos. Apresenta inclusões fluidas dos seguintes tipos:

Tipo A: são inclusões primárias, com dimensões variando entre 5 a 30 μ m, contendo $L_1 + L_2 + V \pm S$, em grupos tridimensionais (não planares), formando nuvens, localizadas aproximadamente no centro dos grãos, de formas irregulares, ladeadas por inclusões de magnetita e cristais de zircão. Contêm aproximadamente 40% de $CO_2(I)$. Sua temperatura de homogeneização varia entre 296 a 327°C, com salinidade variando entre 0,2 a 3,9% de NaCa eq., obtida a partir da temperatura de fusão do clatrato.

Tipo Ca: essas inclusões ocorrem em trilhas, próximo às bordas dos grãos, ao longo de fissuras, não ultrapassando os limites do grão hospedeiro (pseudo-secundárias), contendo $L + V \pm S$, de forma alongada, com dimensões de aproximadamente 10 μ m, e com preenchimento de aproximadamente 90%. A temperatura de homogeneização varia entre 177 a 196°C, com salinidades variando entre 2,4 a 4,0% de NaCl eq. (obtida a partir da fusão do clatrato).

b) Quartzo 2

O quartzo de cavidades miarolíticas é zonado, com núcleo às vezes fumê, transparente a translúcido, às vezes recoberto por fina camada de mica tardia. Apresenta-se sob a forma de cristais euédricos, mostrando zonas de crescimento, às vezes delimitadas por inclusões fibroradiais de minerais micáceos/carbonáticos. Em algumas partes internas dos cristais observa-se uma zona cisalhada constituída de pequenos grãos de quartzo com orientações cristalográficas diferentes e diminutas inclusões intragranulares, provenientes de circulação de fluidos posteriores ao cisalhamento. De um modo geral plagioclásio, micas e carbonatos estão inclusos no quartzo. Apresenta inclusões fluidas dos seguintes tipos:

Tipo B: ocorrem exclusivamente nas partes interiores dos cristais de quartzo, contendo $L + V \pm S$, com formas de cristais negativos ou ovaladas, com dimensões variando entre 15 a 20 μ m, sendo principalmente pseudo-secundárias. Sua temperatura de homogeneização varia entre 178 a 201°C, com salinidades calculadas a partir do clatrato variando entre 9,7 a 12,1% de NaCl eq. e temperatura final de fusão do clatrato variando entre 2,8 a 4,5°C.

Tipo Ca: ocorrem principalmente nas partes intermediárias dos cristais, contendo $L + V \pm S$, de forma variável, com dimensões de aproximadamente 10 μ m, podendo ser pseudo-secundárias ou primárias (localizadas ao longo de zonas de crescimento), com preenchimento de aproximadamente 80%. A temperatura de homogeneização varia entre 178 a 212°C, com salinidades variando entre 2,7 a 6,4% de NaCl eq.

Na zona III do pegmatito ocorrem grandes cristais de espodumênio, centimétricos a decimétricos, geralmente nas cores verde ou vermelha, associados principalmente a quartzo, lepidolita, cleavelandita e turmalina. O quartzo desta zona, intercrescido com espodumênio, apresenta inclusões fluidas do tipo Ca, assim descritas:

Tipo Ca: ocorrem no quartzo intercrescido com espodumênio, contendo $L+V\pm S$, de forma geralmente irregular, primárias ou secundárias, com dimensões de aproximadamente $20\mu\text{m}$.

7.3 – Discussões e Interpretações dos Resultados Microtermométricos

Os dados de IF obtidos neste estudo comprovaram plenamente os dados de Beurlen *et al.* (2001) no que se refere à sucessão de tipos de fluidos e demais propriedades microtermométricas.

A evolução dos fluidos ao longo do processo de cristalização dos pegmatitos inicia-se com inclusões do tipo A e B, de baixa salinidade, seguido dos tipos Ca (baixa salinidade), Cb (salinidade moderada) e Cc (baixa salinidade) com temperaturas de homogeneização decrescentes. Segundo Beurlen *et al.* (2001) este comportamento pode ser explicado pela concentração residual de cátions bi- ou trivalentes no fluido após a cristalização das zonas II e III dos pegmatitos. Alternativamente pode ser entendido como resultado de lixiviação desses cátions por fluidos tardios.

As IF dos tipos Cc e D podem representar qualquer fluido hidrotermal ou ter sido introduzido em condições *subsolidus*, relacionado ou não à mesma fonte magmática.

Na Figura 7.2 mostra-se um diagrama temperatura de homogeneização *versus* salinidade para inclusões fluidas em cristais de quartzo do pegmatito Boqueirão, que são representativos da evolução dos fluidos nestes pegmatitos estudados, pois engloba os vários tipos de IF ao longo das diversas zonas de crescimento em dois destes cristais.

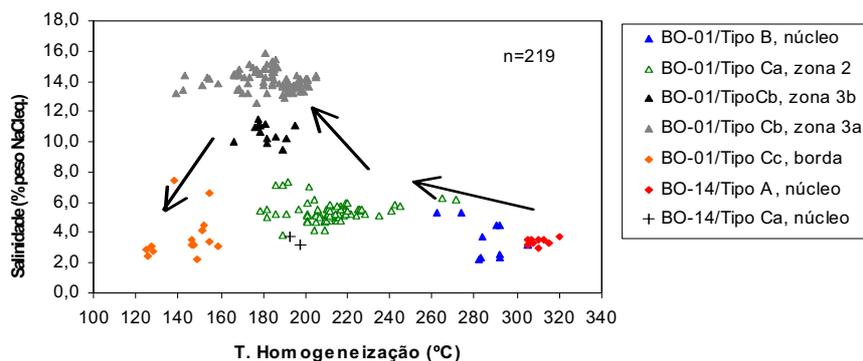


Figura 7.2 – Diagrama Temperatura de Homogeneização *versus* Salinidade para IF em cristais de quartzo do pegmatito Boqueirão (amostras BO-01 e BO-14), registrando a evolução dos fluidos ao longo do processo de cristalização do pegmatito. n = número de medições microtermométricas (homogeneização). As setas indicam a mais provável evolução dos fluidos durante a cristalização deste pegmatito.

Na Tabela 7.1 são apresentados dados petrográficos e microtermométricos de grupos representativos de IF estudadas e no Anexo II mostra-se os dados completos das IF estudadas, inclusive com o tratamento estatístico dado a cada grupo de inclusões.

Tabela 7.1- Dados petrográficos e microtermométricos de grupos representativos dos diferentes tipos de inclusões fluidas (IF) de pegmatitos da PPB, modificado de Beurlen *et al.* (2001b). A = aquosas, C = carbônicas; AC = aquo-carbônicas; $\pm S$ = com sólidos acidentalmente inclusos, principalmente muscovita; pseudosec. = pseudo-secundárias; entre parêntesis o número de IF medidas. Tipos **A**, **B**, **Ca**, **Cb** e **Cc**, e **D** conforme explicado no texto. Pr = IF primárias; Ps = IF pseudosecundária; Sec = IF secundárias; (x) = número de medições; $\pm X$ = desvio padrão; n=núcleo; b=borda; z I, Z II, Z III = zonas I, II e III

Pegmatito Mineral hospedeiro, (zona),	Características Petrográficas das IF			Dados Microtermométricos			
	Natureza da IF	Tipo/(fases a T ambiente)	vol CO ₂ (liq) %	Tf _{CO₂} (°C)	salinidade wt% NaCl eq	Th _{CO₂} (°C)	Th _{tot} (°C)
Boqueirão Quartzo de pegmatito gráfico (zona II)	Ps.+Sec Sec Sec Sec	A / (AC \pm S) D / (C) Ca / (A \pm S) Cb / (A \pm S)	70-25(liq) 100-80(liq) 0 0	-56.9 \pm 0.1(92) -56.9 \pm 0.1(31)	4.3 \pm 1.0(96) 3.1 \pm 2.3(31) 16.7 \pm 2.1(17)	26.9 \pm 3.5(87) 21.7 \pm 5.0(21)	272 \pm 33(42)
Boqueirão (Cristal de quartzo, limite Zona II e III).	Pr-n Pr-z I Pr-z II Pr-z III. Pr-b	B / (AC \pm S) Ca / (A \pm S) Cb / (A \pm S) Cb / (A \pm S) Cc / (A \pm S)	30 (vapor) 0 0 0 0	?	3.5 \pm 1.1(26) 5.3 \pm 0.7(93) 14.1 \pm 0.7(98) 10.5 \pm 0.7(21) 3.7 \pm 1.3(26)	?	289 \pm 16(21) 212 \pm 15(80) 183-14(95) 182 \pm 7 (21) 144 \pm 12(16)
Capoeira 1 Turmalina e granada (limite). (Zona I e II)	Pr	A / (AC \pm S)	50(liq)	-57.1 \pm 0.5(22)	4.1 \pm 1.0(6)	28.9 \pm 0.9(8)	293 \pm 15(14)
Capoeira 1 Cristais de quartzo (Zonas II e III, corpos de substituição)	Pr-n Ps-n Pr-b	A / (AC \pm S) B / (AC \pm S) Cb / (A \pm S)	50(liq) 30(vapor) 0	-56.8 \pm 0.1(42) ?	3.0 \pm 0.3(41) 2.8 \pm 0.2(9) 23.1 \pm 3.1(3)	29.7 \pm 0.2(39) ?	295 \pm 4 (29) 221 \pm 13 (8) 213 \pm 13(35)
Quintos Grão de quartzo, Zona I	Pr	A / (AC \pm S)	40-50 (liq)	-56.8 \pm 0,12 (46)	2,4 \pm 1,0(23)	22,9 \pm 2,1(46)	307 \pm 6(37)
Quintos Grão de quartzo, Zona I	Ps	Ca/(A \pm S)	0		3,0 \pm 0,4(66)		183 \pm 4(53)
Quintos Cristal de quartzo de cavidade miarolítica,	Pr+Ps	Ca/(A \pm S)	0		5,7 \pm 0,8(73)		182 \pm 9(67)
Quintos , Cristal de quartzo de cavidade miarolítica,.	Ps	B / (AC \pm S)			11, \pm 0,7(14)		185 \pm 7(12)

Os dados microtermométricos obtidos das IF dos pegmatitos estudados e de outros da região permitiram caracterizar os fluidos composicional e termodinamicamente. Os gradientes P-T de estabilidade dos fluidos homogêneos, representados pelas isócoras (curvas de densidade constante), foram calculadas usando equações de estado de Brown & Lamb (1989) para o sistema H₂O-NaCl e de Bowers & Helgesson (1983) para o sistema H₂O-CO₂-NaCl e o programa FLINCOR.

Análises das fases carbônicas desenvolvidas em inclusões fluidas aquocarbônicas selecionadas, dos tipos A e B, através de microespectrometria Raman a raio Laser em quartzo e turmalina dos pegmatitos Capoeira e Boqueirão, são mostrados na Tabela 7.2, incluindo características petrográficas, dados da fase carbônica e propriedades globais (densidades das fases aquosa e carbônica e composição molar).

Tabela 7.2: Dados Raman e propriedades globais de IF selecionadas e representativas (calculadas pelo método de Ramboz *et al.* 1985) de pegmatitos da PPB

INCLUSÕES					DADOS RAMAN					PROPRIEDADES GLOBAIS						
Características petrográficas					Fase carbônica (Mol %)					(Mol %)					d _(bulk) g/cc	χ _{CO₂} / χ _{N₂}
IF nº	Ti po	Min hosp	Zona pegm	V%Aq	dAq g/cc	dCO ₂ g/cc	ZCO ₂	ZN ₂	ZCH ₄	χ _{H₂O}	χ _{NaCl}	χ _{CO₂}	χ _{N₂}	χ _{CH₄}		
BO-1/69	B	Qz	III	70	1,018	0,240	83,0	17,0	-	92,4	1,05	5,8	0,72	-	0,785	8,1
BO-1/72b	B	Qz	III	70	1,074	0,240	75,0	25,0	-	89,7	3,72	5,5	1,09	-	0,824	5,1
BO-14/13	A	Qz	III	45	1,016	0,608	98,4	1,6	-	78,8	0,69	20,2	0,32	-	0,812	62,3
CA-1b/72	A	Tur	II/III	50	1,024	0,654	94,3	5,7	-	75,9	0,78	22,1	1,22	-	0,839	18,1
CA-1d/1	A	Tur	II	60	1,020	0,302	92,5	6,8	0,73	88,5	1,34	9,6	0,52	0,11	0,733	18,4
CA-1b/1	A	Tur	I/II	50	1,021	0,615	95,7	4,3	-	76,9	0,82	21,4	0,86	-	0,818	24,9
CA-11/2	A	Qz	III	50	1,020	0,604	98,4	1,6	-	77,4	0,80	21,5	0,31	-	0,812	68,8
CA-11/6	A	Qz	III	50	1,012	0,600	98,2	1,8	-	77,7	0,58	21,4	0,36	-	0,806	59,7
CA-11/7	A	Qz	III	50	1,010	0,628	98,4	1,6	-	77,1	0,50	22,1	0,32	-	0,819	69,9
CA -11b/8	A	Qz	II	45	1,007	0,596	98,0	2,0	-	82,3	0,46	16,9	0,34	-	0,822	50,2

Minerais hospedeiros (Min hosp): Qz = cristais de quartzo; *Qz = quartzo gráfico; Tur = turmalina; V%Aq = percentagem volumétrica da fase aquosa; dAq = densidade da fase aquosa; d_(bulk) = densidade global da IF, χ = composição molar, conforme Beurlen *et al.* (2001b).

Na Figura 7.3 mostra-se um espectro Raman típico de uma inclusão fluida do tipo A proveniente de quartzo do pegmatito Capoeira 1, com picos nítidos de CO₂ e pequeno pico de N₂.

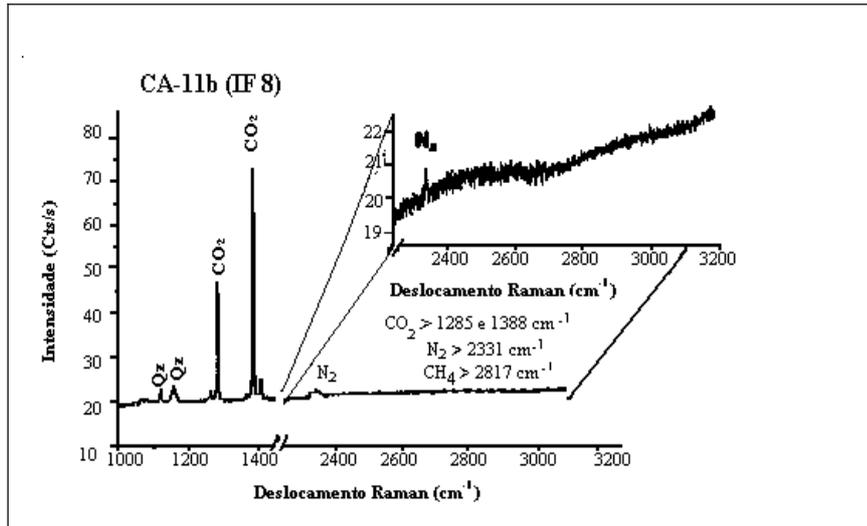


Figura 7.3- Espectro Raman típico de IF tipo A do pegmatito Capoeira 1 (amostra CA-11b), com picos nítidos de CO_2 e pequeno pico de N_2 (Qz = quartzo), segundo Beurlen *et al.* (2001b)

As isócoras representativas dos vários tipos de IF, de diferentes zonas de vários pegmatitos, assim como os dados calculados dos limites de estabilidade de espodumênio+quartzo (pressões mais elevadas) e de petalita (pressões mais baixas), conforme London (1990) e entre o berilo e o euclásio + quartzo (Barton, 1986), são representados no diagrama P-T da Figura 7.4. Também considera-se as condições de metamorfismo regional estabelecidas por Gama & Albuquerque (1985), de $500^\circ\text{C}/5\text{kbar}$ e por Lima (1986), de $600\pm 40^\circ\text{C}/3,5\pm 1\text{kbar}$ e leva-se em consideração que os pegmatitos da PPB se posicionaram na fase final do metamorfismo (Araújo *et al.*, 2001).

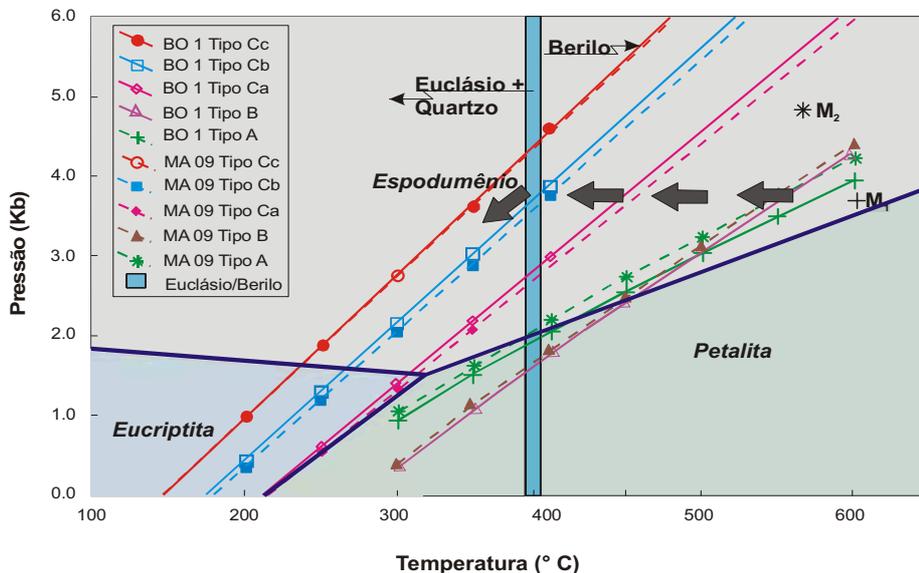


Figura 7.4 – Isócoras representativas de vários tipos de IF de pegmatitos da PPB, modificado de Beurlen *et al.* (2001b). M_1 e M_2 : condições metamórficas regionais estabelecidas respectivamente por Lima (1986) e Gama & Albuquerque (1985). BO = pegmatito Boqueirão; MA = pegmatito Mamões. As setas indicam a evolução mais provável das condições termobarométricas dos fluidos durante a cristalização dos pegmatitos.

As inclusões de euclásio em zonas de crescimento de cristais de quartzo, com IF do tipo Cb no quartzo e no próprio euclásio, levaram a se interpretar o cruzamento dessas isócoras com o limite de estabilidade do berilo/euclásio (linha vertical a 400°C) a 400°C/3,8kbar como condições de aprisionamento dessas IF, correspondendo ao início da formação de corpos de substituição. As IF tipo A e B se sucedem em zonas de crescimento em um mesmo cristal, com A anterior a B e com temperatura de homogeneização de A maior que B. Assim o cruzamento das IF tipos A e B (580°C/3,8kbar) conforme Beurlen *et al.* (2001a) são interpretadas como as mais prováveis estimativas das condições P-T mínimas para o início da cristalização dos pegmatitos da PPB. Considera-se ainda que as temperaturas de aprisionamento (entrapamento) das IF tipo A devem ser maiores ou iguais que as do tipo B e as pressões de entrapamento das inclusões do tipo A maiores ou iguais do que as dos tipos B, Ca e Cb e ainda que a cristalização de um pegmatito é um processo relativamente rápido e dificilmente (ou é pouco provável) deve ocorrer associado a um aumento de pressão litostática. Estas condições P-T de cristalização destes pegmatitos são coerentes com os valores estabelecidos por Černý (1991a) para pegmatitos enriquecidos em elementos raros. A seguir, na Foto 7.1, mostra-se alguns aspectos de IF aquocarbônicas (tipo A), em cristal de quartzo no pegmatito Capoeira 1.

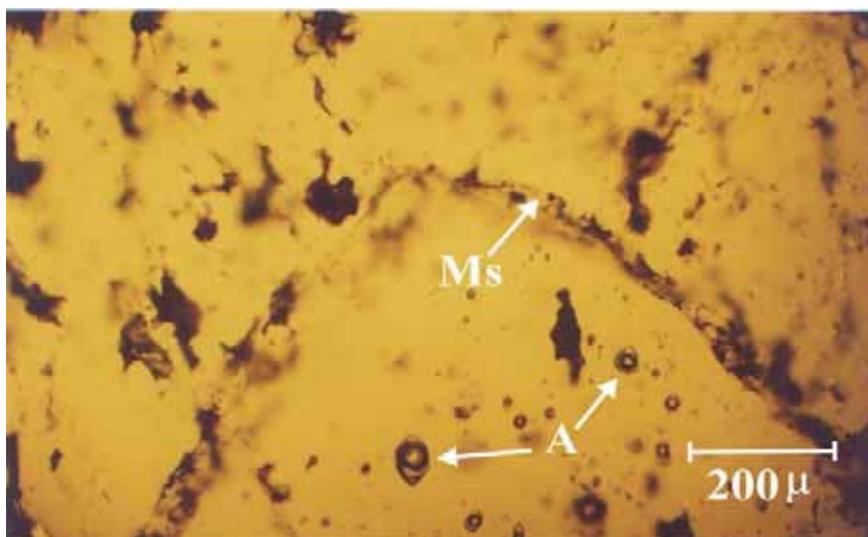


Foto 7.1 – IF tipo A (A), aquocarbônicas próximo aos limites do núcleo de um cristal de quartzo do pegmatito Capoeira 1 que apresenta sucessivas zonas de crescimento. O limite do núcleo é marcado por inclusões de muscovita (Ms) ao longo de faces piramidais corroídas.

Os resultados microtermométricos obtidos neste trabalho, associados a resultados fornecidos por Beurlen *et al.* (1997, 1998, 2000, 2001a, 2001b) para pegmatitos da região permitem concluir que:

- A precocidade das inclusões fluidas aquocarbônicas em relação às aquosas na PPB indica uma saturação do magma pegmatítico em H₂O e CO₂ no início da cristalização ao contrário do que ocorre em outros pegmatitos, onde a saturação se inicia com fluidos

aqueos (Fuentes-Fuente *et al.*, 2000; Linnen & William-Jones, 1994) seguida de fluidos aquocarbônicos, ou bem mais tardia (London *et al.* 1989).

- As inclusões dos pegmatitos estudados são de baixa a moderada salinidade.
- Ocorrem várias fases sólidas nas IF, geralmente ocupando 30% ou menos do volume da mesma. Segundo Beurlen *et al.* (2001a) até 6 fases minerais podem estar presentes nas inclusões fluidas, na maioria das vezes tratando-se de inclusões acidentais.
- A análise das fases carbônicas revela a ausência quase total de CH₄ (Beurlen *et al.*, 2001b). Esses resultados confirmam a ausência já suspeitada de CH₄, pois os resultados microtermométricos da fusão final da fase carbônica (TfCO₂) mostram-se muito próximos de -56,6°C, restringindo-se a um intervalo entre -56,6 a -57,1°C.
- Observaram-se fortes sinais de CO₂ nas inclusões do tipo A e pequenos sinais de N₂, conforme mostra o espectro característico na Figura 7.3. Nas inclusões do tipo B, confirmando os resultados obtidos na microtermometria, com fusão final positiva do clatrato, constata-se a presença de CO₂ na fase vapor, e às vezes a presença de N₂.
- Nas inclusões fluidas dos tipos A e B não se observou a presença de outras fases voláteis, tais como H₂S, CO, C₂H₆ e a composição da fase carbônica é predominantemente formada por CO₂.
- Na Tabela 7.2 observa-se que as razões CO₂/N₂ são sempre inferiores a 70 (variando entre 8,1 a 69,9) diferentes dos resultados obtidos para inclusões fluidas no pegmatito Tanco, Canadá, por Thomas & Spooner (1992) que são geralmente superiores a 140 (com teores de N₂ menores e de CH₄ mais elevados). Esses autores compararam os dados do pegmatito Tanco com os de fluidos magmáticos, concluindo que os fluidos pegmatíticos seriam de fonte ígnea. Fuentes-Fuente *et al.* (2000) estudando pegmatitos da Espanha (região da Galícia) obtiveram teores de CH₄ e N₂ mais elevados, sendo interpretados como resultado da assimilação dos fluidos metamórficos das rochas encaixantes.
- Isócoras calculadas a partir de dados microtermométricos, associados à estabilidade do espodumênio primário (em vez da petalita) e euclásio (em vez do berilo) permitiram estimar as condições P-T de cristalização dos pegmatitos no intervalo 580-400°C e 3,8kbar em condições aproximadamente isobáricas, correspondendo ao intervalo desde a cristalização da zona I até o início da formação de corpos de substituição.
- Enquanto nos pegmatitos Boqueirão, Capoeira 1 e Mamões (Beurlen *et al.*, 2001a) tenha sido sistematicamente observada a presença de fluidos do tipo A e B em núcleos de cristais de quartzo das zonas II e III, no pegmatito Quintos estes tipos de IF se restringem a quartzo da própria zona I (zona de contato) do pegmatito. Isto pode sugerir que as zonas II e III do pegmatito Quintos teriam se cristalizado a partir de um magma mais fracionado que o dos outros pegmatitos.

Nos pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos procurou-se estudar, além de micas e feldspatos, comuns a todos os corpos pegmatíticos, outros minerais de ocorrência ampla e presentes na maioria das suas unidades internas. Foram selecionadas turmalinas, granada, gahnita e nióbio-tantalatos. À exceção dos nióbio-tantalatos e gahnita, que quase sempre ocorrem em apenas uma unidade, os demais minerais ocorrem em várias zonas primárias e corpos de substituição dentro de um mesmo pegmatito. Comparou-se, sempre que possível, os resultados obtidos com outros da própria província (PPB) e de outras localidades do mundo, citados na literatura, visando avaliar melhor o nível de fracionamento dos pegmatitos estudados.

8.1 - Micas

Este grupo de minerais se caracteriza por apresentar uma morfologia lamelar e uma clivagem basal perfeita, consequência de sua estrutura atômica em camadas. Uma característica marcante na estrutura das micas é uma lâmina complexa, na qual uma camada de cátions em coordenação octaédrica está apertada entre dois estratos idênticos de tetraedros de $(\text{Si,Al})\text{O}_4$. De acordo com Deer *et al.* (1981), a fórmula geral das micas pode ser expressa por



X é representado por K, Na, Ca, Ba, Rb, Cs

Y é representado por Al, Mg, Fe, Mn, Cr, Ti, Li.

Z é representado por Si, Al e provavelmente Fe^{3+} , Ti.

T é representado por OH e F

De acordo com a fórmula exposta, as micas podem ser divididas em dioctaédricas e trioctaédricas, nos quais o número de íons no sítio Y são respectivamente 4 e 6, segundo Deer *et al.* (1981).

Uma característica comum à maioria das micas é o seu conteúdo de água: conforme Deer *et al.* (1981) as análises de micas mostram conteúdos de H_2O variando entre 4 a 5%, exceto para as que têm alto teor de F.

As micas típicas dos pegmatitos graníticos são biotita, muscovita, muscovita litinífera e lepidolita. Muscovita e biotita ocorrem normalmente como fases minerais no zoneamento primário (em todas as zonas) dos pegmatitos, enquanto que a lepidolita tem sua ocorrência restrita aos corpos de substituição.

De acordo com Deer *et al.* (1981) nas muscovitas podem entrar até 3,3% de Li_2O sem modificar de modo substancial a sua estrutura. A partir desse valor há uma transição de

muscovita para lepidolita, onde quantidades apreciáveis de F podem substituir OH, parecendo haver uma série contínua entre muscovita (di-octaédrica) e lepidolita (tri-octaédrica).

Juntamente com os feldspatos, as micas são minerais de ampla ocorrência em pegmatitos graníticos. Elas podem reter em sua estrutura elementos tais como Rb, Cs, Li, Ga, Ta, Nb, Zn, F, Be, entre outros, com notáveis variações no conteúdo desses elementos ao longo do processo de cristalização. Essas variações fazem das micas minerais ideais para se estudar a evolução geoquímica de pegmatitos. Por outro lado, as micas, devido a sua clivagem são mais susceptíveis à contaminação pela facilidade de adsorver elementos, tanto a partir de soluções tardias, como por cristalização primária a partir de fusões pegmatíticas. Por isso o estudo das micas deve ser acompanhado pelo estudo de outros minerais essenciais e acessórios. A relação $Fe/(Fe+Mg)$ nas micas depende da assembléia mineral presente, crescendo das muscovitas de assembléias minerais ricas em biotita, para assembléias com granadas, até assembléias que contêm turmalinas (Shearer *et al.* 1987).

Dois elementos extremamente importantes no estudo geoquímico das micas pegmatíticas são K e Rb. Normalmente as micas mostram um incremento no enriquecimento em Rb, da zona marginal para as partes mais interiores dos corpos pegmatíticos. No pegmatito Tanco, Canadá, as muscovitas da zona marginal têm conteúdo de Rb da ordem de 16000ppm, enquanto que nas lepidolitas das porções centrais os conteúdos de Rb são de 36000ppm; as relações K/Rb são respectivamente de 4,6 e 2,1 (Černý, 1982b). As relações K/Rb e K/Cs diminuem fortemente nas micas com o incremento da diferenciação. As micas tardias geralmente são enriquecidas em álcalis raros (Rb, Cs, Li). O conteúdo de Cs nas micas pegmatíticas normalmente é muito baixo, e aumenta à medida que aumenta o conteúdo de Li.

De acordo com Da Silva (1993), na Província Pegmatítica da Borborema (PPB) a muscovita é o principal tipo de mica, ocorrendo em pegmatitos homogêneos e heterogêneos. Biotita ocorre em poucos pegmatitos, geralmente na zona II. Da Silva (op. cit.) estudando muscovitas na PPB obteve valores médios de Rb da ordem de 2000ppm na zona I e 3900ppm em corpos de substituição, com relações K/Rb variando entre 47 e 23, respectivamente.

Nos pegmatitos estudados, como normalmente ocorre em pegmatitos graníticos, as micas são freqüentes, ocorrendo principalmente sob a forma de muscovita ou lepidolita, sendo estas últimas típicas de corpos de substituição.

8.1.1 – Micas do Pegmatito Boqueirão

Foram estudadas muscovitas da zona II e de corpo de substituição da provável apófise (Boqueirão II), totalizando 5 amostras, conforme análises mostradas resumidamente nas Tabelas 8.1 e 8.2 e com dados completos no Anexo III.

Os sítios estruturais X e Y, conforme resultados obtidos, têm conteúdo que em geral se aproxima muito dos valores teóricos de 2 e 4apfu, respectivamente. Em algumas muscovitas o sítio estrutural Y não atinge 4,00apfu, sugerindo a existência de vacância ou a presença de cátions como Li, Cr, entre outros. O Li, se presente, ocorre em pequena concentração, não excedendo 0,44apfu. O sítio estrutural T (OH+F) varia de 4,63 a 5,5 apfu, extrapolando em muito o valor teórico de 4,00 apfu para esta posição, devido aos altos conteúdos de OH, indicando altos conteúdos de H₂O. Segundo Deer *et al.* (1981) o conteúdo de H₂O pode variar entre 4,00 a 5,00% em peso, exceto em micas com alto conteúdo de F, já que este elemento substitui OH.

A maioria dos elementos maiores destas muscovitas apresentam poucas variações. K₂O varia entre 9,96 a 10,4% em peso, enquanto Fe₂O₃ (Fe total) varia entre 2,97 a 4,3 % em peso. As maiores variações ocorrem no Fe, Mg e F. O conteúdo de Si quase sempre é ligeiramente inferior a 6,00 apfu (valor teórico), característica comum em micas de pegmatitos. O conteúdo de Rb tende a aumentar com a diferenciação.

8.1.2 – Micas dos Pegmatitos Capoeira

No pegmatito Capoeira 1 foram estudadas muscovitas da zona I, zona II e corpo de substituição, totalizando 8 amostras. No pegmatito Capoeira 2 foram estudadas muscovitas das zonas I, zona II, zona de albita e corpo de substituição, totalizando 4 amostras. No pegmatito Capoeira 3, devido os trabalhos mineiros estarem ainda pouco desenvolvidos, estudou-se apenas 2 amostras (zona I e zona de albita).

Os sítios estruturais X e Y das muscovitas destes pegmatitos têm conteúdo que se aproximam muito dos valores teóricos de 2 e 4 apfu. O sítio estrutural T (OH+F) tem conteúdo que extrapola em muito o valor teórico de 4,00apfu para esta posição (4,81 a 5,54 apfu), devido aos altos conteúdos de OH, indicando altos conteúdos de H₂O.

A maioria dos elementos maiores destas muscovitas apresentam poucas variações. K₂O varia entre 9,95 a 10,4% em peso, enquanto Fe₂O₃ (Fe total) varia entre 0,97 a 3,89% em peso. As maiores variações ocorrem nos teores de Fe, Mg e F. O conteúdo de Si quase sempre é ligeiramente inferior a 6,00apfu (valor teórico), característica comum em micas de pegmatitos. Os maiores conteúdos de Rb nas muscovitas do pegmatito Capoeira 1 ocorrem nos corpos de substituição, enquanto que nas muscovitas dos pegmatitos Capoeira 2 e Capoeira 3 as maiores concentrações de Rb estão nas muscovitas da zona de albita.

8.1.3 – Micas do Pegmatito Quintos

No pegmatito Quintos foram estudadas micas do lado leste, oeste e da parte central do corpo, totalizando 3 amostras. Estas micas são geralmente de cor rósea, ou esverdeada com bordas róseas, ou ainda totalmente esverdeadas, em placas de até 10cm, associadas com quartzo, feldspatos, granada, gahnita e turmalinas. Apresentam milimétricas inclusões

aciculares de coloração amarelada, possivelmente rutilo ou turmalinas e raros dendritos de óxidos de Mn.

Os sítios estruturais X e Y das muscovitas destes pegmatitos têm conteúdo que se aproximam muito dos valores teóricos de 2 e 4apfu. O sítio estrutural T (OH+F) tem conteúdo que extrapola em muito o valor teórico de 4,00apfu para esta posição, devido aos altos conteúdos de OH, indicando altos conteúdos de H₂O, como ocorre nas muscovitas dos pegmatitos Capoeira e Boqueirão.

A maioria dos elementos maiores destas muscovitas apresentam poucas variações. K₂O varia entre 9,77 a 9,94% em peso, enquanto Fe₂O₃ (Fe total) varia entre 0,73 a 1,07% em peso. O conteúdo de Si é sempre inferior a 6,00apfu (valor teórico), característica comum em micas de pegmatitos. Os maiores conteúdos de Rb nas muscovitas estudadas são da amostra da parte central do pegmatito (1,12% Rb₂O, em peso), sendo este o conteúdo de Rb o mais elevado de todas as muscovitas estudadas.

De um modo geral os elementos traços mostram grandes variações. Os elementos Pb, U, Bi e Cu estão em concentrações muito baixas, não permitindo entender seu comportamento geoquímico ao longo do processo de cristalização dos pegmatitos.

Nas Tabelas 8.1 e 8.2 mostra-se quadro resumo das análises qu das micas estudadas. Dados completos estão no Anexo III.

8.1.4 – Interpretação da Química Mineral e Discussão

Neste item interpreta-se, a partir de diagramas do tipo K/Rb *versus* Rb, Ba, Ga, Al/Ga *versus* Ga, entre outros, o comportamento químico de alguns elementos químicos das micas, visando caracterizar ou avaliar a intensidade do processo de fracionamento dos pegmatitos estudados.

As relações K/Rb são utilizadas principalmente em estudos geoquímicos de rochas graníticas. Em pegmatitos graníticos utiliza-se esta relação em micas e feldspatos visando entender seu processo de evolução geoquímica (Černý *et al.*, 1985), pois Rb se acumula nos estágios mais tardios da cristalização. De acordo com Černý & Burt (1984) e Jolliff *et al.* (1987), entre outros, em pegmatitos homogêneos a relação K/Rb em micas situa-se geralmente acima de 60, enquanto em pegmatitos complexos, altamente diferenciados e com grandes corpos de substituição, esta relação situa-se entre 4 e 22.

Na Figura 8.1 mostra-se o diagrama K/Rb *versus* Rb para as muscovitas estudadas e compara-se os resultados obtidos com o pegmatito Tanco, Canadá (Černý *et al.*, 1985) e com os pegmatitos Mina do Cruzeiro, São José da Safira, Minas Gerais (César Mendes, 1995), inserida na Província Pegmatítica Oriental (PPO).

Tabela 8.1 – Quadro resumo das análises químicas dos elementos maiores das micas dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos, com estequiometria calculada para 24 (O,OH,F), segundo Deer *et al.* (1981)

Óxidos %peso	Boqueirão		Capoeira 1		Capoeira 1		Capoeira 2		Capoeira 2		Capoeira 3		Capoeira 3		Quintos	
	Zona II	CS	Zona I	Zona II	CS	Zona I	Zona II	Z. Albita	CS	Zona I	Z. Albita	Lado E	Lado W	Centro	Lado E	Centro
SiO ₂	45,15	44,77	45,70	45,17	44,98	44,7	44,5	44,0	44,1	44,94	45,12	44,60	44,71	44,54	44,60	44,71
Al ₂ O ₃	33,5	34,17	32,10	33,07	33,93	33,3	34,6	36,1	36,2	34,69	35,29	36,00	35,39	36,31	36,00	35,39
K ₂ O	10,25	10,09	10,32	10,22	10,35	10,21	10,17	9,95	10,22	10,91	10,70	9,81	9,77	9,94	9,81	9,77
MgO	0,85	0,63	1,21	0,97	0,80	0,77	0,48	0,14	0,26	0,25	0,12	0,19	0,30	0,05	0,19	0,30
MnO	0,08	0,14	0,08	0,09	0,16	0,17	0,17	0,22	0,25	0,17	0,2	0,28	0,24	0,37	0,28	0,24
CaO	0,01	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,04	0,01	0,05	0,02	0,01	0,05	0,02	0,10	0,05	0,02
Na ₂ O	0,65	0,66	0,79	0,61	0,65	0,68	0,67	0,78	0,54	0,68	0,62	0,66	0,67	0,64	0,66	0,67
TiO ₂	0,255	0,20	0,41	0,57	0,53	0,64	0,45	0,24	0,16	0,40	0,25	0,22	0,23	0,21	0,22	0,23
Rb ₂ O	0,165	0,56	0,25	0,17	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,54	0,77	0,89	0,75	1,12	0,89	0,75
Fe ₂ O ₃	3,635	2,77	3,86	3,03	2,83	3,42	2,50	1,42	0,97	2,55	1,69	0,94	1,07	0,73	0,94	1,07
F*	0,52	0,73	0,55	0,69	0,85	0,91	0,89	1,29	0,75	0,58	0,75	na	na	na	na	na
P.F.	5,55	5,50	5,20	5,77	5,03	5,2	5,7	5,8	5,5	5,3	5,9	6,0	6,4	5,8	6,0	6,4
Total	100,61	100,23	100,50	100,37	100,40	100,02	100,17	99,95	99,00	101,03	101,42	99,64	99,55	99,81	99,64	99,55
n	2	3	1	3	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
K	1,72	1,69	1,74	1,71	1,74	1,72	1,69	1,64	1,72	1,83	1,77	1,65	1,64	1,67	1,65	1,64
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
Na	0,17	0,17	0,20	0,16	0,17	0,17	0,17	0,20	0,14	0,17	0,16	0,17	0,17	0,16	0,17	0,17
Rb	0,03	0,10	0,04	0,03	0,05	0,05	0,10	0,13	0,12	0,09	0,13	0,15	0,13	0,19	0,15	0,13
Total X	1,92	1,96	1,98	1,90	1,96	1,94	1,97	1,97	1,99	2,09	2,06	1,98	1,94	2,03	1,98	1,94
Al(VI)	3,11	3,18	3,04	3,02	3,20	3,07	3,13	3,21	3,42	3,27	3,24	3,46	3,34	3,53	3,46	3,34
Ti	0,03	0,02	0,04	0,06	0,05	0,06	0,04	0,02	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Fe	0,54	0,41	0,58	0,45	0,42	0,51	0,37	0,21	0,14	0,38	0,25	0,14	0,16	0,11	0,14	0,16
Mn	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03
Mg	0,17	0,12	0,24	0,19	0,16	0,15	0,09	0,03	0,05	0,05	0,02	0,04	0,06	0,01	0,04	0,06
Total Y	3,85	3,75	3,90	3,72	3,84	3,81	3,65	3,49	3,66	3,76	3,56	3,69	3,61	3,71	3,69	3,61
Si(IV)	5,93	5,89	6,04	5,92	5,93	5,89	5,81	5,70	5,80	5,90	5,85	5,87	5,87	5,88	5,85	5,87
Al(IV)	2,07	2,11	1,96	2,08	2,07	2,11	2,19	2,30	2,20	2,10	2,15	2,13	2,13	2,12	2,13	2,13
Total Z	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
OH	4,86	4,82	4,58	5,04	4,42	4,57	4,96	5,01	4,83	4,64	5,10	5,27	5,60	5,10	5,27	5,60
F	0,22	0,30	0,23	0,29	0,35	0,38	0,37	0,53	0,31	0,24	0,31	0,24	0,31	0,31	0,24	0,31
Total T	5,07	5,12	4,81	5,32	4,77	4,96	5,33	5,54	5,14	4,88	5,41	5,27	5,60	5,10	5,27	5,60

CS = corpo de substituição; Z. Albita = zona de albita; PF = perda ao fogo; n = número de análises; na = não analisado

Tabela 8.2 – Quadro resumo das análises químicas dos elementos traços (em ppm) das micas dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos

Elemento ppm	Boqueirão		Capoeira 1		Capoeira 1		Capoeira 2		Capoeira 2		Capoeira 3		Capoeira 3		Quintos	
	Zona II	CS	Zona I	Zona II	CS	Zona I	Zona II	Z. Albita	CS	Zona I	Zona II	Z. Albita	Lado E	Lado W	Centro	
Ga	213	238	178	167	210	215	286	364	283	192	185	245	220	269		
Ta	29	85	48	33	48	41	82	40	32	41	61	52	51	51		
Nb	499	348	342	360	398	514	379	176	95	306	208	124	138	85		
Be	13	22	19	13	20	18	24	30	21	72	31	32	23	26		
Pb	2	1	2	2	1	1	1	1	3	1	1	0	0	0		
Sn	104	27	8	5	2	101	30	7	6	11	8	<ld	<ld	<ld		
Zn	127	218	312	183	298	182	418	767	810	433	610	145	115	189		
Cu	7	2	2	2	6	2	3	2	4	3	3	1	3	1		
U	1	1	1	0	5	4	10	0	4	6	10	5	181	1		
Bi	0	1	0	0	0	1	8	1	1	0	6	1	0	1		
V	6	13	5	20	4	14	5	1	5	8	4	9	9	<ld		
Ba	6	6	11	53	19	16	6	2	8	3	5	na	na	na		
W	66	80	120	69	39	48	31	19	17	88	17	17	69	41		
Zr	4	14	4	6	2	14	2	1	0	1	1	2	3	2		
P	219	233	218	131	175	131	175	175	349	<ld	<ld	87	87	218		
K/Rb	59	19	37	55	33	33	16	12	13	18	13	10	12	8		
Al/Ga	849	765	954	1047	865	820	640	525	677	956	1012	778	851	714		

CS = corpo de substituição; Z. Albita = zona de albita; PF = perda ao fogo; na = não analisado; <ld = abaixo do limite de detecção

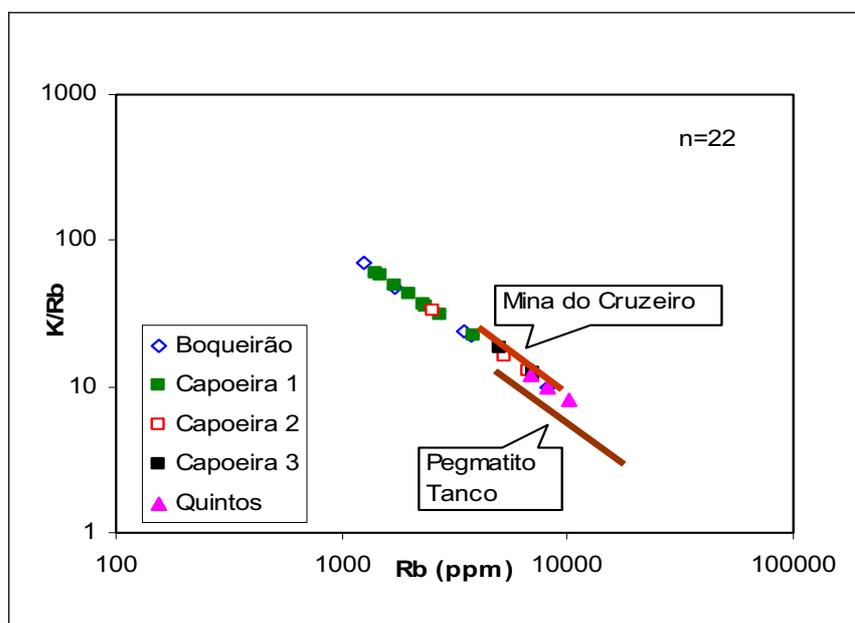


Figura 8.1 – Diagrama K/Rb versus Rb para muscovita dos pegmatitos estudados, comparados com dados dos pegmatito Mina do Cruzeiro, São José da Safira, Minas Gerais (César Mendes, 1995) e Tanco, Manitoba, Canadá (Černý *et al.*, 1985); n = número de análises

Nos pegmatitos estudados, o conteúdo de Rb nas micas varia entre 1280 a 10241 ppm e as relações K/Rb variam entre 8 e 69. O diagrama K/Rb versus Rb mostra uma boa correlação negativa, linear, com o enriquecimento em Rb aumentando com a diminuição de K/Rb, ou seja, ao longo do fracionamento do pegmatito. As muscovitas do pegmatito Boqueirão mostram valores de Rb muito variados, diferente dos valores das muscovitas dos outros pegmatitos. As micas do pegmatito Quintos mostram o nível de evolução química mais elevado entre os pegmatitos estudados. Estes valores foram comparados aos do pegmatito Tanco, para se poder avaliar o nível de evolução geoquímica dos pegmatitos estudados. Os valores obtidos mostram um *trend* paralelo ao *trend* do pegmatito Tanco, porém em um nível de evolução menor, embora as muscovitas do pegmatito Quintos tenham valores comparáveis às do pegmatito Tanco. A seguir, Figuras 8.2 a 8.7 mostra-se respectivamente os diagramas K/Rb versus Ba, Ga, Zn, Be, W e Ta.

Os diagramas K/Rb versus Rb, Zn, Ga, Be e Ta mostram correlações negativas implicando no aumento desses elementos com a diminuição da relação K/Rb, ou seja, com o aumento do grau de fracionamento. O diagrama K/Rb versus W não mostra nenhuma correlação, implicando em não haver nenhuma relação aparente entre W e K/Rb nestes pegmatitos.

Nos diagramas K/Rb versus Ba, Ga e Zn foram inseridos os campos composicionais sugeridos por Černý & Burt (1984), designados por MSC (muscovite-bearing class), BCT (beryl-columbite type), LT (lepidolite type: MOZ, Moçambique e MNG, Mongólia), ST (spodumene type), CT (complex type–Tanco), permitindo classificar os pegmatitos em

subtipos. É importante observar que esses campos composicionais foram definidos anteriormente à classificação de Černý (1989a), que divide os pegmatitos de elementos raros em tipos e subtipos, de acordo com sua afinidade geoquímica e pela presença de alguns minerais típicos como berilo, espodumênio, petalita, lepidolita, gadolinita, albita e amblygonita. Também não inclui o subtipo elbaíta (tipo complexo), definido posteriormente por Novák & Povondra (1995). Deve-se também entender que os tipos lepidolita, berilo-columbita e espodumênio são na realidade subtipos e que complex type-Tanco, é na realidade tipo complexo, subtipo petalita, que ocorre em pegmatitos muito fracionados. Torna-se, no entanto, muito difícil a redefinição destes campos, no momento atual, devido que muitos pegmatitos onde se dispõe de dados geoquímicos de micas, não estão classificados segundo os tipos e subtipos de Černý (1989a). Também pegmatito subtipo elbaíta, definido por Novák & Povondra (1995), é ainda pouco estudado.

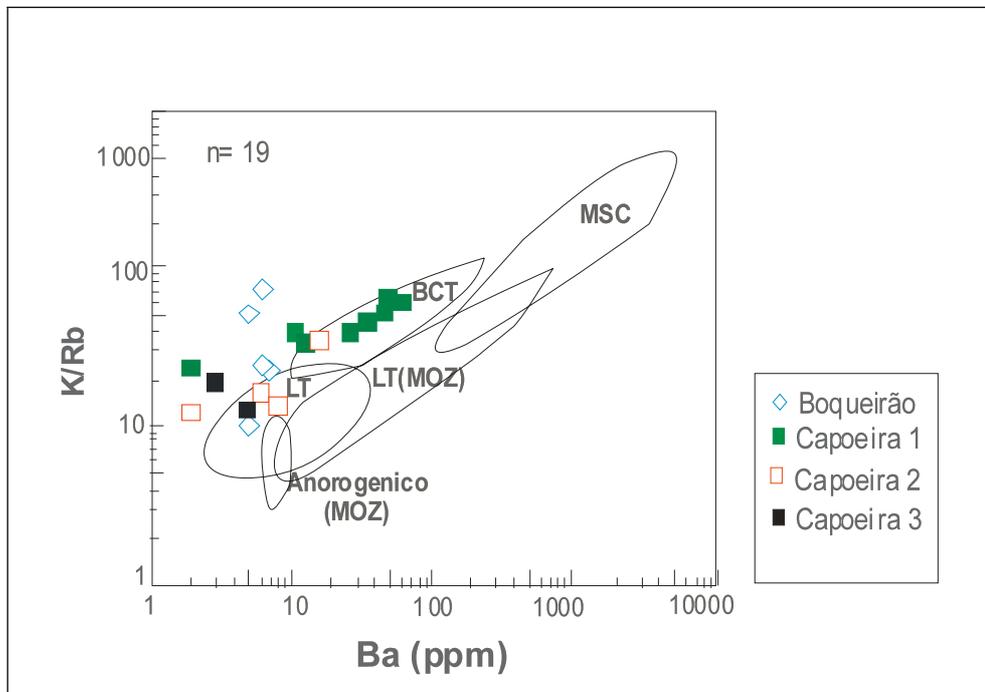


Figura 8.2 – Diagrama K/Rb versus Ba para muscovita dos pegmatitos estudados, de acordo com Černý & Burt (1984). BCT=beryl-columbite type; LT(MOZ)=lepidolite type –Moçambique; MSC=muscovite-bearing type; Anorogênico (MOZ)= anorogênico-Moçambique; LT=lepidolite type; n = número de análises.

O conteúdo de Ba nas micas estudadas varia entre 2 e 62ppm, mostrando ampla variação. O diagrama K/Rb versus Ba mostra uma discreta correlação positiva indicando um empobrecimento em Ba ao longo do processo de cristalização dos pegmatitos, seguindo o processo normal da evolução. Inserindo-se neste gráfico os campos discriminantes propostos por Černý & Burt (1984), observa-se que os valores obtidos situam-se na interface dos campos LT (tipo lepidolita) e BCT (tipo berilo-columbita). As muscovitas do pegmatito Capoeira 1 inserem-se preferencialmente no campo BCT, enquanto que as muscovitas do

pegmatito Capoeira 2 situam-se preferencialmente no campo LT. As muscovitas dos pegmatitos Boqueirão e Capoeira 3 ou estão no campo LT, ou não estão inseridas em nenhum dos campos. O diagrama K/Rb *versus* Ba (Figura 8.2) mostra uma correlação positiva, implicando na diminuição do conteúdo de Ba com a evolução do pegmatito. Segundo Černý & Burt (1984), pegmatitos pouco evoluídos geoquimicamente têm usualmente altos conteúdos de Ba. É o caso de alguns pegmatitos enriquecidos em biotita, fergusonita, gadolinita, amazonita, entre outros.

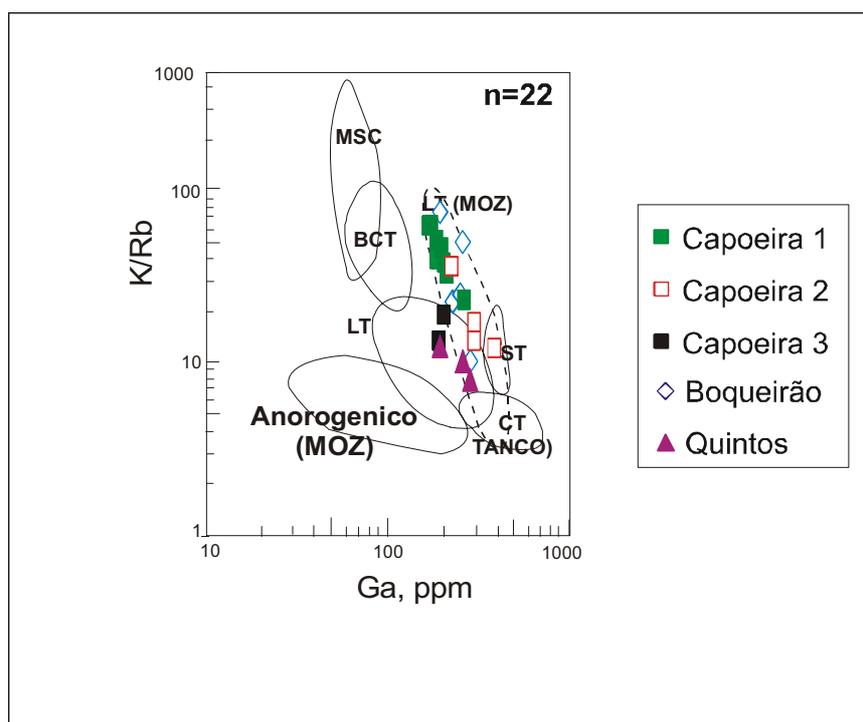


Figura 8.3 – Diagrama K/Rb *versus* Ga para muscovita dos pegmatitos estudados, de acordo com Černý & Burt (1984). BCT=beryl-columbite type; LT(MOZ)=lepidolite type – Moçambique; MSC=muscovite-bearing type; Anorogênico (MOZ)=anorogênico-Moçambique; LT =lepidolite type; CT=complex type-Tanco; ST=spodumene type. n = número de análises

O diagrama K/Rb *versus* Ga (Figura 8.3) mostra uma boa correlação negativa indicando um enriquecimento em Ga (161 a 364 ppm) ao longo da cristalização. Inserindo-se os campos discriminantes propostos por Černý & Burt (1984), observa-se que as micas estudadas inserem-se no campo LT (MOZ), ou seja, tipo lepidolita (Moçambique), diferente dos valores obtidos por Da Silva (1993), onde as micas inserem-se nos campos MSC e BCT, indicando que existem mais de um subtipo de pegmatitos portadores de elementos raros na PPB.

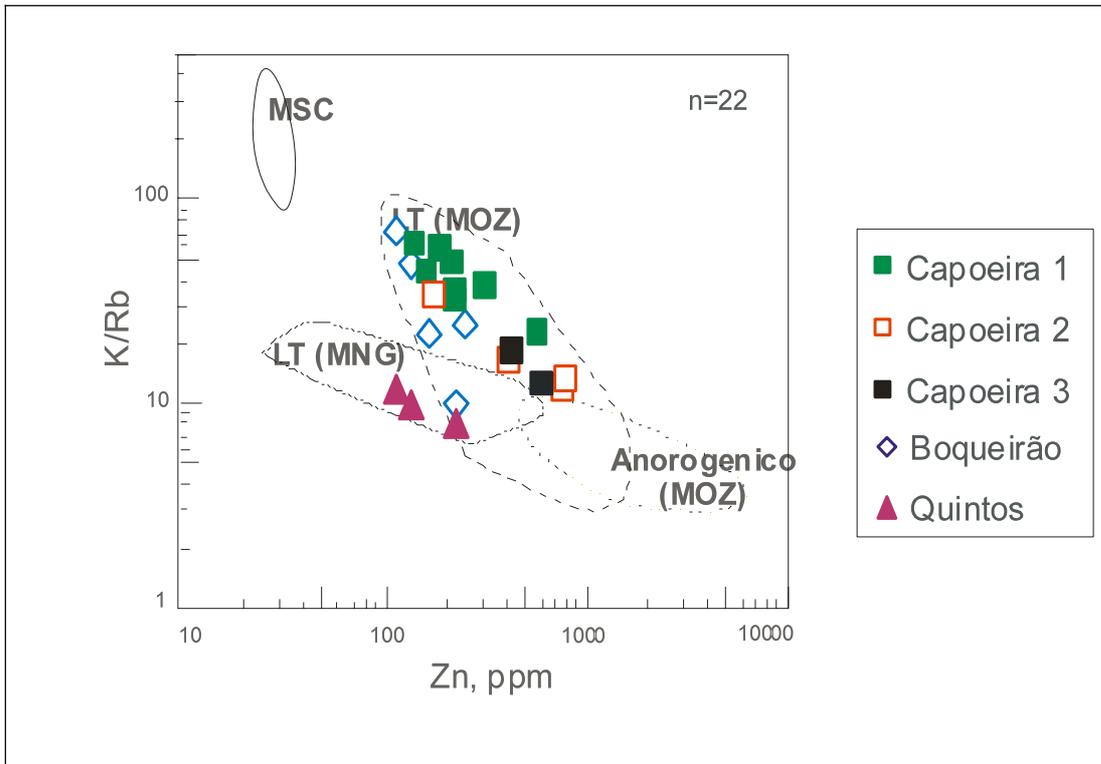


Figura 8.4 – Diagrama K/Rb versus Zn para muscovita dos pegmatitos estudados, de acordo com Černý & Burt (1984). LT(MOZ)=lepidolite type –Moçambique; MSC=muscovite-bearing type; Anorogênico (MOZ)=anorogênico-Moçambique; LT(MNG) =lepidolite type-Mongólia. n = número de análises

O diagrama K/Rb versus Zn (Figura 8.4) mostra uma razoável correlação negativa, indicando um enriquecimento em Zn (115 a 810ppm) à medida que há uma diminuição da relação K/Rb, ou seja, ao longo da diferenciação. Inserindo-se os campos composicionais de Černý & Burt (1984) observa-se que as micas situam-se no campo LT (MOZ), ou seja, tipo lepidolita de Moçambique, exceto as micas do pegmatito Quintos que se inserem no campo LT (MNG), ou seja, tipo lepidolita de Mongólia.

A persistência das muscovitas nos campos de lepidolita, LT (Moz) e LT, apesar de alguns pontos estarem inseridos no campo BCT, levou-nos a classificar estes pegmatitos como complexos, subtipo lepidolita, apesar de mostrarem níveis diferentes de evolução geoquímica, com os pegmatitos Capoeira 2 e 3 em níveis superiores ao do pegmatito Capoeira 1. Outros pegmatitos estudados na PPB por Da Silva (1993) foram classificados como tipo berilo, subtipo berilo-columbita-fosfato de acordo com a classificação de Černý (1989a) Nas Figuras 8.5 e 8.6 e 8.7, mostra-se os diagramas K/Rb versus Be, W e Ta relativo às muscovitas estudadas.

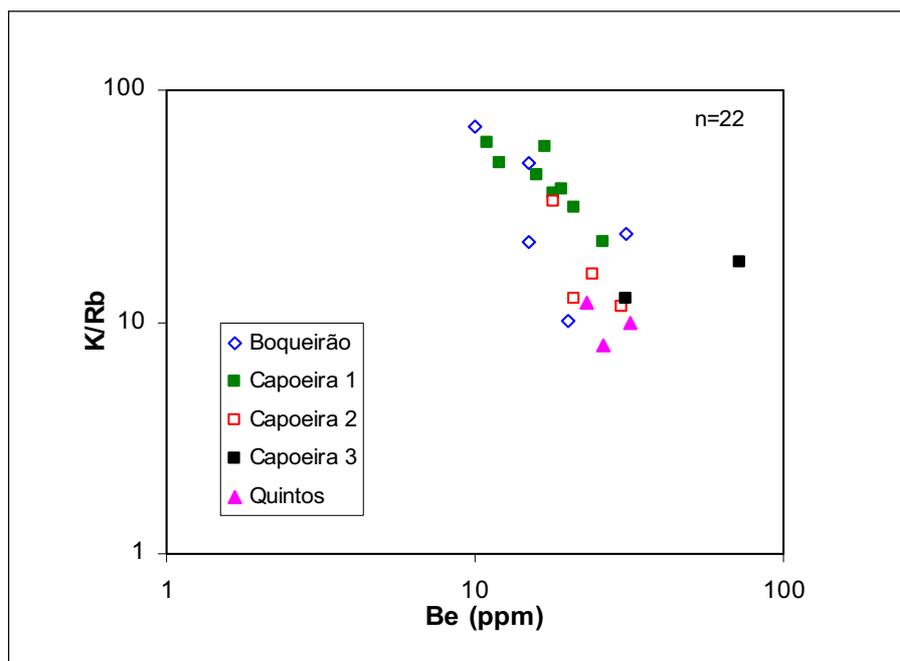


Figura 8.5 – Diagrama K/Rb *versus* Be para muscovita dos pegmatitos estudados; n = número de análises

É notável a presença do elemento Be em pegmatitos graníticos de elementos raros: ocorre em todos os tipos e subtipos definidos por Černý (1989a), quer como elemento traço na estrutura de micas, feldspatos, turmalinas e outros minerais, quer formando fases minerais como berilo, euclásio, gadolinita, bertrandita, herderita, berilonita e hambergita, entre outros, chegando a ocorrer em grandes concentrações em pegmatitos do tipo berilo. Algumas destas fases minerais (berilo, gadolinita) são de grande importância no entendimento da gênese e evolução de pegmatitos.

Diagramas envolvendo Be em muscovitas de pegmatitos não são usuais. Entretanto devido a grande importância deste elemento na geoquímica de pegmatitos de elementos raros, tentou-se através do diagrama K/Rb *versus* Be, entender o seu comportamento ao longo do processo de cristalização dos pegmatitos estudados.

O conteúdo de Be nestas micas varia entre 10 e 72ppm, similar a valores encontrados por Morteani *et al.* (2000) na Província Pegmatítica Oriental (PPO). O diagrama K/Rb *versus* Be mostra uma boa correlação negativa, onde o conteúdo de Be aumenta com a diminuição de K/Rb, ou seja, aumenta com a diferenciação. Isto é coerente com a presença de berilo nestes pegmatitos, que ocorre nas partes mais interiores dos corpos, geralmente na zona III, ou nos limites desta com núcleos de quartzo, ou ainda em cavidades miarolíticas. É importante notar que o berilo ocorre nos pegmatitos Boqueirão e Capoeira 1 em quantidades razoáveis. O pegmatito Quintos produziu mais de 2000 toneladas de berilo (Reinhard Wegner, comunicação pessoal).

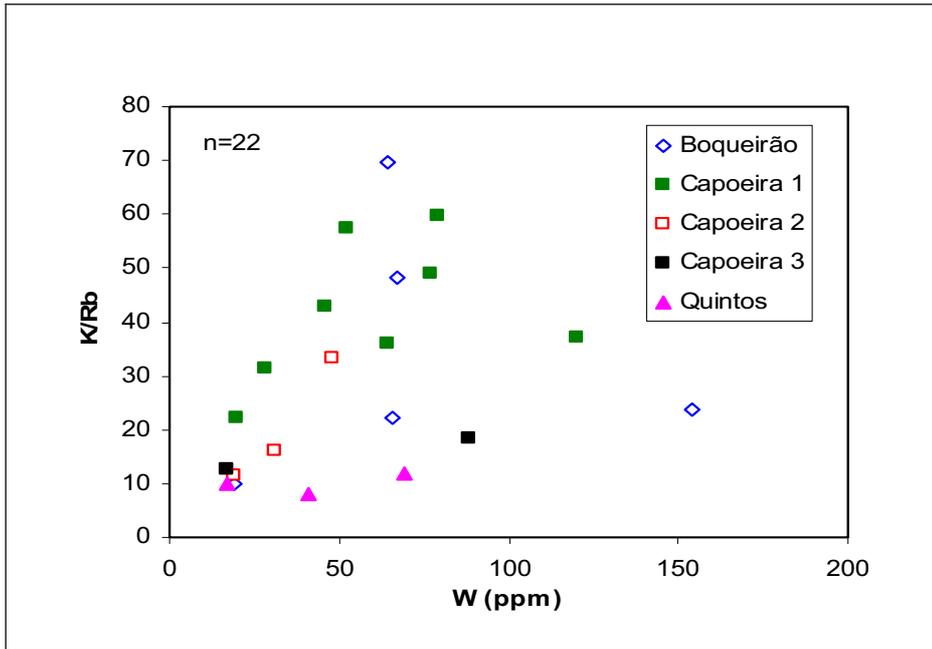


Figura 8.6 – Diagrama K/Rb versus W para muscovita dos pegmatitos estudados; n = número de análises

O conteúdo de W nas micas estudadas varia entre 17 a 154ppm, comparáveis aos valores encontrados por Alfonso *et al.* (2003) para micas do pegmatito Cap de Creus, Espanha. O diagrama K/Rb versus W não mostra uma correlação entre W (17 a 154ppm) e K/Rb, também já observado por Alfonso *et al.* (2003), não podendo se estabelecer um *trend* de fracionamento. A seguir, na Figura 8.7 mostra-se o diagrama K/Rb versus Ta para as muscovitas dos pegmatitos estudados.

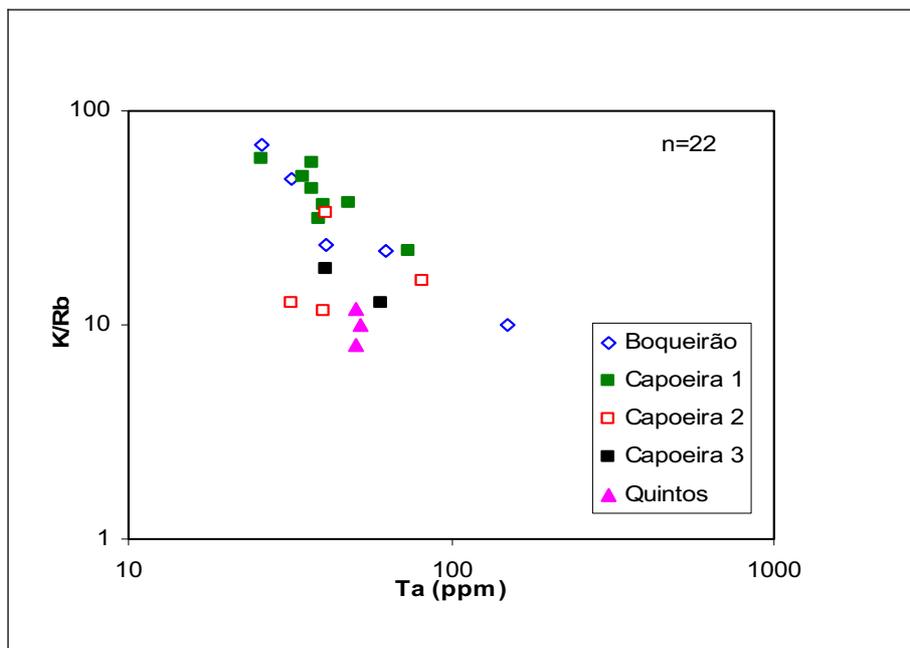


Figura 8.7 – Diagrama K/Rb versus Ta para muscovita dos pegmatitos estudados; n = número de análises

O diagrama K/Rb *versus* Ta (Figura 8.7) mostra uma razoável correlação negativa entre Ta (26 a 150ppm) e K/Rb, indicando um aumento no conteúdo de Ta com o fracionamento dos pegmatitos.

Ga é um elemento que ocorre muito disperso na natureza e substitui Al em pequenas proporções, em minerais como micas (Borisenok & Ryabchikov, 1962; Černý *et al.*, 1985, entre outros), feldspatos (Černý *et al.*, 1985), podendo também ocorrer em quantidades extremamente pequenas em quartzo (Komov & Zubkova, 1973). De acordo com Borisenok & Ryabchikov (1962) o conteúdo de Ga em minerais de pegmatitos decresce na seguinte seqüência: muscovita, biotita, plagioclásio e microclina. A grande diferença de raio iônico entre Ga (0,62Å) e Al (0,51Å) é um dos fatores responsáveis pela limitada substituição do Al pelo Ga. A relação Al/Ga em micas e feldspatos é utilizada por vários autores, entre eles. Černý *et al.* (1985), para avaliar a evolução geoquímica de pegmatitos. Esses autores encontraram valores de 239 para a relação Al/Ga em micas de pegmatitos extremamente fracionados. Na Figura 8.8 mostra-se o diagrama Al/Ga *versus* Ga para as muscovitas estudadas, onde as relações Al/Ga variam entre 525 e 1104, e compara-se os resultados com os do pegmatito Tanco Canadá (Černý *et al.*, 1985).

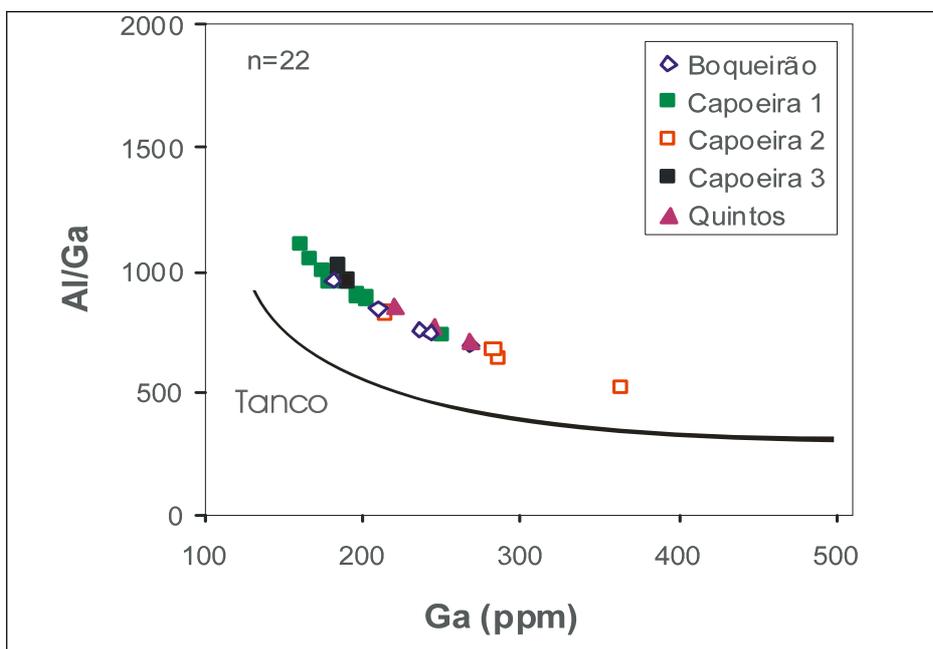


Figura 8.8 – Diagrama Al/Ga *versus* Ga para muscovita dos pegmatitos estudados, comparados com dados do pegmatito Tanco, Manitoba, Canadá (Černý *et al.*, 1985); n = número de análises

O diagrama Al/Ga *versus* Ga (Figura 8.8) mostra uma boa correlação negativa, com enriquecimento em Ga ao longo do processo de cristalização dos pegmatitos. Comparou-se estes resultados com os do pegmatito Tanco, Canadá (extremamente fracionado, conforme Černý *et al.*, 1985), verificando-se que os pegmatitos, apesar do alto grau de diferenciação

em termos de Al-Ga, encontram-se em um nível de evolução geoquímica menor que o do pegmatito Tanco.

Uma ferramenta utilizada para avaliar o potencial de mineralização em Ta em pegmatitos, a partir de micas claras, é o diagrama Ta *versus* Ga (Figura 8.9) proposto por Möller & Morteani (1987), baseado em Beus (1966) que sugere Ta > 20ppm, e Gordienko (1971) que estabelece Ta > 65-70ppm como índices de mineralização em Ta. Möller & Morteani (1987) observaram que pegmatitos com abundantes corpos de substituição e com albita sacaroidal têm alto potencial de mineralização em Ta. Também propuseram outros diagramas com o mesmo propósito: Ta/W *versus* Cs, Ta *versus* Cs e Ta *versus* K/Cs. Eles não serão estudados aqui, pois não existem dados analíticos de Cs nas muscovitas.

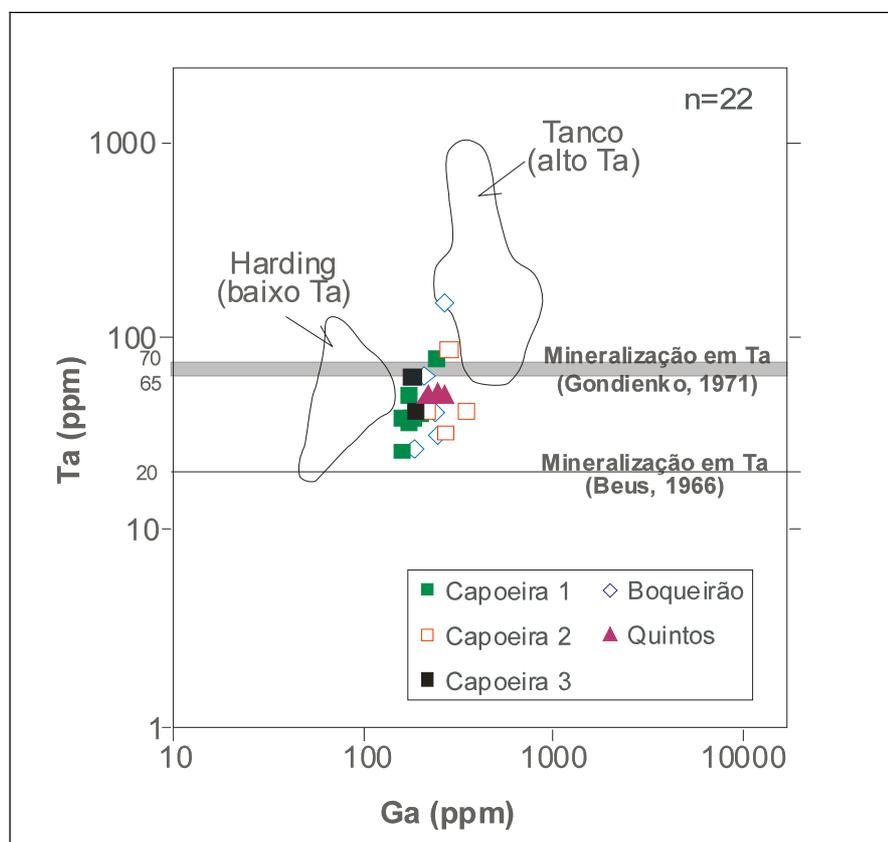


Figura 8.9 – Diagrama Ta *versus* Ga para muscovita dos pegmatitos estudados, comparados com os das micas brancas dos pegmatitos Harding (baixo Ta) e Tanco (alto Ta), conforme Möller & Morteani (1987); n = número de análises.

As muscovitas dos pegmatitos estudados, avaliadas por este método são comparados com as dos pegmatitos Tanco (alto Ta), subtipo petalita, altamente fracionado e Harding (baixo Ta), subtipo berilo-columbita, razoavelmente fracionado. Os pegmatitos estudados podem ser classificados como medianamente mineralizados em Ta, do mesmo modo que os estudados por Da Silva (1993) na mesma região.

8.2 – Feldspatos

Os feldspatos constituem um importante grupo de minerais de ampla ocorrência na natureza. São aluminossilicatos que quimicamente podem ser inseridos no sistema ternário $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$. Os termos da série $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - KAlSi_3O_8 são conhecidos por feldspatos alcalinos e os compreendidos entre $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ - $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ são plagioclásios (Deer *et al.* 1981). Os termos extremos das séries de soluções sólidas são ortoclásio (KAlSi_3O_8), albita ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) e anortita ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$).

A série dos plagioclásios é designada em termos dos membros finais albita (Ab) e anortita (An). São convenientemente subdivididos, de acordo com o teor molecular de anortita, $\text{An} = [\text{An}/(\text{An}+\text{Ab}) \cdot 100]$, em:

Albita	An_{0-10}	Labradorita	An_{50-70}
Oligoclásio	An_{10-30}	Bitownita	An_{70-90}
Andesina	An_{30-50}	Anortita	An_{90-100}

Nas séries alcalinas as designações dos feldspatos estão relacionadas com a composição química e o estado estrutural de cada fase mineral. Em temperaturas acima de 700°C há uma solução sólida completa iniciando-se por albita, passando por anortoclásio até sanidina de alta temperatura. Para temperaturas mais baixas os membros intermediários da série apresentam intercrescimento entre os feldspatos ricos em Na e K, designado genericamente por pertita/antipertita.

Os elementos Na, Ca, K, Rb, Cs, Ga, Tl, Pb, Sr e Ba, entre outros, podem entrar na estrutura dos feldspatos, quer como elementos maiores ou como elementos traços. Os quatro últimos são os mais interessantes do ponto de vista petrológico e geoquímico (Correia Neves, 1981). A variação nos conteúdos desses elementos ao longo da cristalização de pegmatitos faz com que relações como K/Rb, Rb/Sr, Ba/Rb, K/Ba, K/Cs, Al/Ga, entre outras, sejam adequadas ao estudo de fracionamento dos mesmos. Os elementos mais importantes no estudo geoquímico de feldspatos em pegmatitos são Rb e Cs, cujos conteúdos crescem com a evolução do pegmatito.

No entendimento da evolução de processos pegmatíticos, relações como K_2O versus Rb, Rb versus Na/K, K/Rb versus Rb e Al/Ga versus Ga e outras são freqüentemente utilizados por autores como Gordienko (1971), Černý *et al.* (1985), Larsen (2002) e Alfonso *et al.* (2003).

Morteani *et al.* (2000), avaliaram o nível de fracionamento e o potencial em mineralizações em Nb, Ta, Li e Sn em pegmatitos da Província Pegmatítica Oriental do Brasil através do estudo de elementos maiores e traços em K-feldspato e muscovita. Utilizaram

diagramas de fracionamento Cs, Zn, Li, Be, Ba *versus* K/Rb, Cs *versus* Ta/(Ta+Nb) e U, Na₂O *versus* K/Cs.

Da Silva (1993) estudando feldspatos de pegmatitos da PPB, observou que eles apresentam baixo teor de anortita (An). Albita domina na zona I e albita (cleavelandita) em corpos de substituição, mostrando baixos conteúdos de K, Rb e Cs. O teor de albita decresce da zona I em direção ao interior dos pegmatitos, onde na zona III aparece apenas em lamelas de exsolução.

8.2.1 – Feldspatos do Pegmatito Boqueirão

No pegmatito Boqueirão II (provável apófise) foram estudados feldspatos das zonas II e zona III e no corpo principal do pegmatito (Boqueirão I) foram estudados feldspatos de corpo de substituição, devido ao fato de que as exposições das zonas primárias do corpo principal estão muito alteradas, impossibilitando a coleta de material de boa qualidade para estudo de química mineral. Nos feldspatos do pegmatito Boqueirão a albita predomina na zona II (de contato) e em corpos de substituição, enquanto K-feldspato predomina na zona III.

Os elementos Si e Al mostram pequena variação. Conteúdos de Fe, Mn, Ti e Ca são geralmente muito baixos. Os elementos traços dominantes nos feldspatos deste pegmatito são Rb, Cs, W e Ga. As razões destes elementos com os elementos maiores serão discutidos em conjunto com os resultados dos outros pegmatitos. Por enquanto serão discutidos apenas os valores absolutos de alguns elementos utilizados como traçadores do grau de fracionamento. Os conteúdos de W (126 a 482 ppm) nos feldspatos do pegmatito Boqueirão são muito altos se comparado com outros pegmatitos citados na literatura como no pegmatito Cap de Creus, Espanha, que apresenta 0 a 4ppm de W (Abella, 1995). Sabe-se que o conteúdo de Pb em K-feldspato pode ser utilizado para avaliar o nível de evolução de pegmatitos (Larsen, 2002; Alfonso *et al.*, 2003, entre outros) e que o conteúdo deste elemento diminui com a evolução geoquímica. Em pegmatitos miarolíticos com amazonita (Kukurt, Pamir, Rússia), conforme Peretyazhko *et al.* (1999), o K-feldspato tem conteúdo de até 120ppm de Pb. No pegmatito Boqueirão o conteúdo de Pb é baixíssimo (\pm 1ppm), se comparado com outros pegmatitos como Cap de Creus, Espanha (Alfonso *et al.*, 2003), onde o Pb varia entre 3 e 132 ppm, ou nos pegmatitos da Noroega (Larsen, 2002), que têm conteúdo de Pb variando entre 116 e 197 ppm, podendo indicar um elevado nível de diferenciação para este pegmatito.

O Y é outro elemento traço em K-feldspatos, atualmente utilizado para avaliar a evolução de pegmatitos. Sabe-se que o conteúdo de Y diminui com o fracionamento do pegmatito (Alfonso *et al.*, 2003). No pegmatito Boqueirão o conteúdo de Y é muito baixo (0 a

1ppm) se comparado com outros pegmatitos, como por exemplo, Cap de Creus (Alfonso *et al.*, 2003), onde o conteúdo de Y varia entre 1 e 69ppm.

8.2.2 – Feldspatos dos Pegmatitos Capoeira

Nos pegmatitos Capoeira, estudou-se feldspatos nos pegmatitos Capoeira 1, Capoeira 2 e Capoeira 3, nas diversas unidades destes corpos. No pegmatito Capoeira 1 estudou-se feldspatos das zonas I, II, III e corpos de substituição. Observa-se o domínio de albita nos corpos de substituição, sendo uma albita quase pura; na zona II, uma mistura de K-feldspato e albita e na zona III, um predomínio de K-feldspato.

Os elementos Si e Al mostram poucas variações. Os elementos Mn, Ti e Fe ocorrem em concentrações muito baixas. Os elementos traços dominantes no pegmatito Capoeira 1 são Rb, Cs, W, Ga e Ba, distinguindo-se dos feldspatos do pegmatito Boqueirão, pelos teores mais baixos de Ba. Os elementos Ta, Nb, Be, Pb, Sn, Zn, Cu, U, Bi, V, Zr e Y ocorrem em quantidades reduzidas, às vezes abaixo dos limites de detecção do ICP-MS, não sendo possível estudar o seu comportamento geoquímico ao longo do processo de cristalização do pegmatito. Os elementos Rb, Ba e Cs têm distribuição aleatória ao longo das unidades deste pegmatito.

No pegmatito Capoeira 2 foram estudados feldspatos das zonas I, zona II, Zona III e zona de albita. A albita domina na zona I e na zona de albita. Na zona II observa-se uma mistura de albita e K-feldspato, este último dominando também na zona III.

Os conteúdos de Si, Al, P e Mg sofrem poucas variações. Os elementos Fe, Ti e Mn ocorrem normalmente como traços. Os elementos traços dominantes no pegmatito Capoeira 2 são Rb, W e Cs. O elemento Ba, comum em alguns feldspatos, ocorre aqui em pequenas quantidades (4 a 83ppm). Os elementos Ta, Nb, Be, Pb, Sn, Zn, Cu, U, Bi, V, Zr e Y ocorrem em quantidades reduzidas, às vezes abaixo dos limites de detecção do ICP-MS, não sendo possível estudar o seu comportamento geoquímico ao longo do processo de cristalização do pegmatito. Os elementos Rb, Cs e Ba ocorrem em menores quantidades nos feldspatos da zona I e na zona de albita, unidades onde há um predomínio de albita sobre os outros feldspatos.

Os feldspatos do pegmatito Capoeira 3, apesar da quantidade reduzida de análises, são predominantemente albiticos, quer na zona I ou na zona de albita diferente dos feldspatos do pegmatito Capoeira 1, onde domina K-feldspato na maioria das unidades internas. Entretanto os feldspatos das zonas de albita dos dois pegmatitos têm conteúdos de albita diferentes: 96% no pegmatito Capoeira 2 e 94% no pegmatito Capoeira 3.

Os elementos traços dominantes no pegmatito Capoeira 3 são Rb, Cs, Ba e W, na mesma ordem de grandeza que ocorre nos outros pegmatitos. O elemento Ba, comum em alguns feldspatos, ocorre aqui em pequenas quantidades (10 a 20ppm). Os elementos Ta, Nb, Be, Pb, Sn, Zn, Cu, U, Bi, V, Zr e Y ocorrem em quantidades muito reduzidas, às vezes abaixo

dos limites de detecção do ICP-MS, não sendo possível estudar o seu comportamento geoquímico ao longo do processo de cristalização do pegmatito. Relações K/Rb têm uma redução drástica entre as unidades deste pegmatito: 93 na zona I e 33 na zona de albita registrando um considerável aumento do fracionamento. Comportamento similar ocorre com a relação Al/Ga, com grande diminuição da zona I para a zona de albita.

8.2.3 – Feldspatos do Pegmatito Quintos

No pegmatito Quintos foram estudadas amostras de feldspatos nos lados leste, oeste e da parte central do corpo. Constatou-se que a amostra do lado oeste estava bastante alterada, não se prestando para análises químicas.

Os feldspatos do pegmatito Quintos, apesar da quantidade reduzida de análises, são predominantemente K-feldspatos, quer no lado leste ou na parte central do corpo. Os feldspatos de corpos de substituição não foram analisados devido a dificuldade de acesso ao pegmatito.

Também se observam baixíssimos conteúdos de Fe, Mn, Mg e Ti nestes feldspatos. Os baixos conteúdos de Sr nos feldspatos sugerem que esses pegmatitos têm um alto nível de evolução geoquímica. Também baixos conteúdos de Pb são indicativos de alto nível de diferenciação. Segundo Černý & Burt (1984) e Alfonso *et al.* (2003), o conteúdo de Pb em K-feldspato diminui com a evolução dos pegmatitos.

Nas Tabelas 8.3 e 8.4 são mostrados resultados representativos das análises químicas para elementos maiores e elementos traços dos feldspatos de todos os pegmatitos estudados, com cálculos estequiométricos para 32 (O). Os dados químicos completos estão no Anexo III.

8.2.4 – Interpretação da Química Mineral e Discussão

A relação K/Rb é freqüentemente utilizada em feldspatos para avaliar o grau de fracionamento de pegmatitos (Gordienko, 1971; Černý *et al.*, 1985; Jolliff *et al.*, 1987; Correia Neves, 1990; Morteani *et al.*, 2000; Larsen, 2002; Alfonso *et al.* 2003, entre outros), tendo em vista que Rb tende a se acumular nos estágios mais tardios da cristalização. Os valores da relação K/Rb para os K-feldspatos estudados (8 a 177) são similares aos obtidos por Morteani *et al.* (2000) para pegmatitos dos distritos Safira e Araçuaí da Província Pegmatítica Oriental (PPO). Neste trabalho relacionou-se graficamente K/Rb *versus* Rb, Cs, Ga, Ba, Rb/Sr, Be e Al/Ga *versus* Ga em feldspatos, conforme Figuras 8.10, 8.11, 8.12, 8.13, 8.14, 8.15 e 8.16, visando entender o comportamento destes elementos ao longo do processo de diferenciação dos pegmatitos estudados.

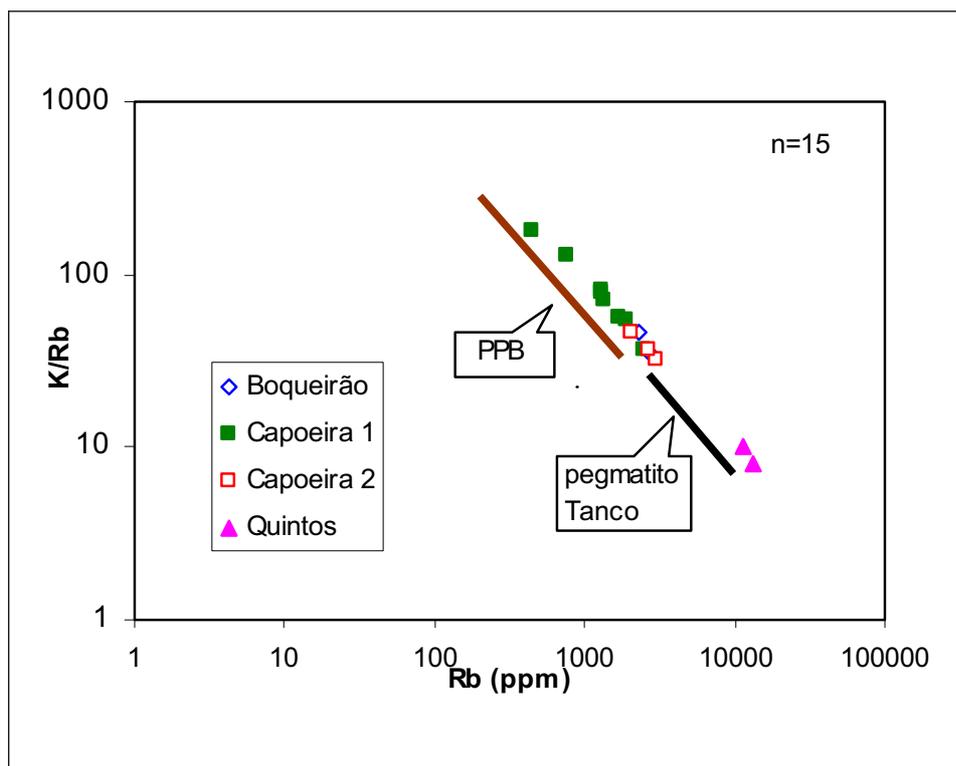


Figura 8.10 – Diagrama K/Rb versus Rb para K-feldspato dos pegmatitos estudados, comparados com dados do pegmatito Tanco (Černý *et al.*, 1985) e com dados de outros pegmatitos da PPB (Da Silva, 1993); n = número de análises

O conteúdo de Rb nos K-feldspatos varia entre 448 a 13388 ppm, com maiores valores no pegmatito Quintos. O diagrama K/Rb versus Rb (Figura 8.10) mostra uma boa correlação negativa, com o enriquecimento em Rb com o aumento do fracionamento. Esses valores, comparados com os do pegmatito Tanco, Canadá (Černý *et al.*, 1985) e com outros da PPB (Da Silva, 1993), sugere um moderado nível de evolução geoquímica para os pegmatitos Boqueirão e Capoeira 1, e alto nível de evolução para os pegmatitos Capoeira 2 e Quintos, com este último, o mais fracionado deles, com conteúdo de Rb variando entre 11294 a 13388 ppm. É importante observar que os pegmatitos Capoeira 1 e Capoeira 2, apesar da proximidade, mostram níveis de fracionamento diferentes.

O Cs é um elemento extremamente importante que ocorre em micas e feldspatos, geralmente substituindo K, sendo usado na avaliação de fracionamento em pegmatitos, pois tende a se acumular nos estágios finais da cristalização. Nos pegmatitos estudados o conteúdo de Cs nos K-feldspatos mostra ampla variação (7 a 1628 ppm), com maiores concentrações observadas no pegmatito Quintos, o mais fracionado dos pegmatitos estudados.

Tabela 8.3 – Quadro resumo das análises químicas dos elementos maiores dos feldspatos dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos, com estequiometria calculada para 32 (O), segundo Deer *et al.* (1981)

Óxidos %peso	Boqueirão		Boqueirão		Boqueirão		Capoeira 1		Capoeira 1		Capoeira 1		Capoeira 2		Capoeira 2		Capoeira 2		Capoeira		Quintos	
	Zona II	Zona III	Zona III	Zona I	Zona II	Zona III	Zona I	Zona II	Zona III	CS	Zona I	Zona II	Zona III	Zona I	Zona II	Zona III	Z. Albita	Zona I	Z. Albita	Lado E	Centro	
SiO ₂	67,10	64,15	65,7	64,35	65,87	64,26	68,20	65,40	65,20	64,40	64,40	64,40	65,90	64,59	67,17	64,70	64,23					
Al ₂ O ₃	21,10	19,35	20,7	19,25	20,07	19,06	20,95	20,50	19,40	19,10	19,10	19,10	19,70	18,92	19,84	18,44	18,50					
K ₂ O	2,2	11,84	5,09	10,61	5,78	11,78	0,47	0,65	6,59	11,75	0,43	0,43	0,43	4,37	0,83	13,26	12,71					
MgO	0,01	0,12	tr	0,11	0,12	0,11	0,01	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,01	0,01	0,01	0,01					
MnO	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01	tr	tr	tr	tr	tr	0,03	0,01	0,01	0,01					
CaO	0,06	0,05	0,03	0,24	0,28	0,89	0,11	0,77	0,23	0,11	0,23	0,11	0,27	2,14	0,28	0,06	0,17					
Na ₂ O	9,08	3,47	8,25	3,91	6,88	3,38	9,83	11,00	6,90	3,15	11,40	7,77	11,40	7,77	11,02	1,62	1,59					
TiO ₂	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	tr	tr	tr	tr					
P ₂ O ₅	0,42	0,41	0,22	0,38	0,21	0,33	0,30	0,29	0,35	0,36	0,36	0,35	0,35	0,17	0,33	0,22	0,28					
Fe ₂ O ₃	0,06	0,10	0,04	tr	0,04	0,06	0,05	tr	tr	tr	tr	tr	tr	0,05	tr	tr	tr					
P.F.	0,56	0,36	0,57	0,49	0,28	0,41	0,43	0,50	0,65	0,25	0,25	0,25	0,50	1,8	0,3	0,40	0,60					
Total	100,61	99,74	100,63	99,35	99,49	99,87	100,38	99,24	99,44	99,24	99,24	99,24	98,66	99,85	99,79	98,72	98,09					
n	1	2	1	2	3	5	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Si	11,63	11,68	11,57	11,69	11,75	11,70	11,76	11,54	11,66	11,78	11,66	11,78	11,66	11,37	11,77	11,92	11,86					
Al	4,31	4,15	4,30	4,12	4,22	4,09	4,26	4,26	4,09	4,12	4,11	4,12	4,11	3,93	4,10	4,01	4,03					
K	0,49	2,75	1,14	2,46	1,34	2,73	0,10	0,15	1,52	2,74	0,10	2,74	0,10	0,98	0,19	3,12	3,00					
Mg	0,00	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00					
Mn	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					
Ca	0,01	0,01	0,01	0,05	0,05	0,17	0,02	0,15	0,04	0,02	0,04	0,02	0,05	0,40	0,05	0,01	0,03					
Na	3,05	1,22	2,82	1,38	2,36	1,19	3,29	3,76	2,38	1,12	3,91	1,12	3,91	2,65	3,74	0,58	0,57					
Ti	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					
P	0,06	0,06	0,03	0,06	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,05	0,03	0,05	0,07	0,09					
Fe	0,01	0,02	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	0,01					
OH	0,65	0,44	0,67	0,59	0,34	0,50	0,49	0,59	0,78	0,30	0,59	0,30	0,59	2,11	0,35	0,49	0,74					
Total	20,21	20,35	20,55	20,37	20,11	20,39	19,98	20,51	20,55	20,16	20,50	20,16	20,50	21,50	20,25	20,20	20,32					
Or	13,71	69,20	28,83	63,34	34,58	67,90	3,00	3,61	39,18	70,65	2,39	70,65	2,39	24,31	4,66	84,07	83,24					
Ab	85,98	30,67	71,03	35,48	64,04	29,60	96,40	92,80	59,74	28,79	96,35	28,79	96,35	65,69	94,02	15,61	15,83					
An	0,31	0,13	0,14	1,18	1,38	2,50	0,60	3,59	1,08	0,56	1,26	0,56	1,26	10,00	1,32	0,32	0,94					

CS = corpo de substituição; Z. Albita = zona de albita; PF = perda ao fogo; n = número de análises; tr = traços

Tabela 8.4 – Quadro resumo das análises químicas dos elementos traços (em ppm) dos feldspatos dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos

Elemento ppm	Boqueirão		Boqueirão		Boqueirão		Capoeira 1		Capoeira 1		Capoeira 1		Capoeira 2		Capoeira 2		Capoeira 2		Capoeira 2		Capoeira		Quintos	
	Zona II	Zona III	CS	Zona I	Zona II	Zona III	CS	Zona I	Zona II	Zona III	Zona I	Zona II	Zona III	Z. Albita	Zona I	Zona II	Zona III	Z. Albita	Zona I	Zona II	Z. Albita	Lado E	Centro	
Rb	310	2409	1243	602	803	1732	605	80,2	1702	2347	33	391	209	11294	13388									
Cs	16	86	206	11	22	50	8	19	105	111	9	24	22	430	1628									
Ba	6	6	21	92	109	36	42	7	50	71	4	20	10	na	na									
Ga	28	23	17	17	16	17	18	28	29	21	38	18	35	30	29									
Ta	1	0	0	1	0	0	1	1	2	0	5	3	6	0	0									
Nb	3	<ld	<ld	1	<ld	<ld	1	1	2	<ld	2	9	2	<ld	<ld									
Be	12	7	2	6	5	3	4	4	8	8	18	11	8	<ld	3									
Pb	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	0	1									
Sn	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld									
Sr	3	5	4	12	16	8	8	11	6	8	5	23	6	4	34									
Zn	2	1	1	2	1	1	3	3	2	1	2	1	1	1	1									
Cu	3	3	1	1	5	2	1	5	8	1	8	2	4	0	1									
U	3	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	5	1	1	2									
Bi	0	0	2	0	0	0	1	1	1	1	5	0	5	0	1									
V	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld									
W	398	185	482	569	418	263	690	313	675	305	701	909	356	399	476									
Zr	<ld	<ld	10	2	1	1	1	1	1	<ld	<ld	2	1	1	1									
Y	0	0	1	1	1	0	0	1	0	<ld	0	7	0	<ld	0									
K/Rb	59	42	34	153	77	60	6	67	34	42	109	93	33	10	8									
Al/Ga	4060	4553	6406	6073	6887	5930	6370	3888	3689	4876	2758	5562	3034	3253	3376									
Rb/Sr	124	775	289	71	56	236	81	7	230	295	6	17	34	2824	394									

CS = corpo de substituição; Z. Albita = zona de albita; na = não analisado; <ld = abaixo do limite de detecção

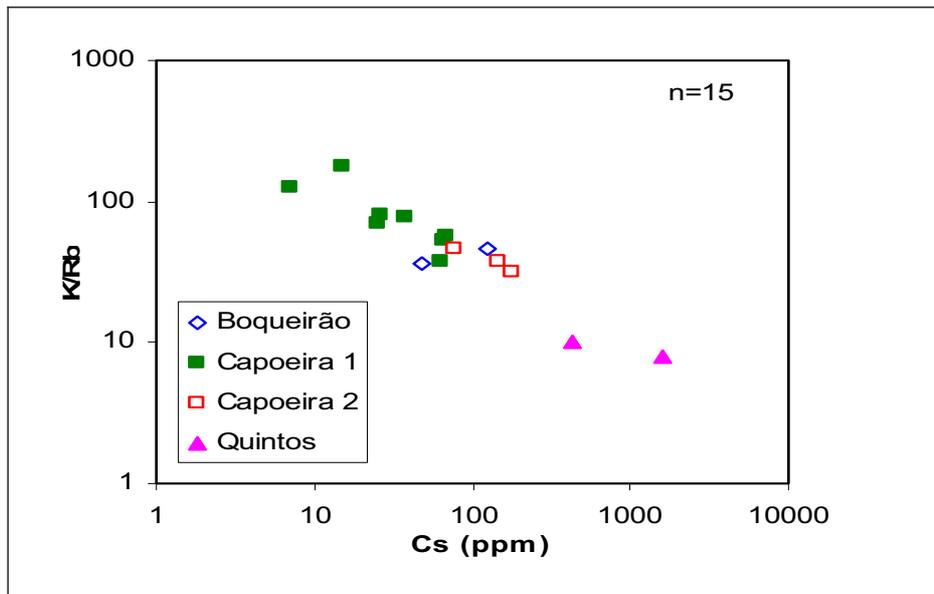


Figura 8.11 – Diagrama K/Rb *versus* Cs para K-feldspato dos pegmatitos estudados; n = número de análises

No diagrama K/Rb *versus* Cs (Figura 8.11) observa-se uma boa correlação negativa, também observado nos pegmatitos Cap de Creus, Espanha, por Alfonso *et al.* (2003) entre outros, mostrando um enriquecimento em Cs ao longo da diferenciação, confirmando o indicado no diagrama K/Rb *versus* Rb (Figura 8.10), que o pegmatito Quintos é o mais fracionado entre os estudados aqui.

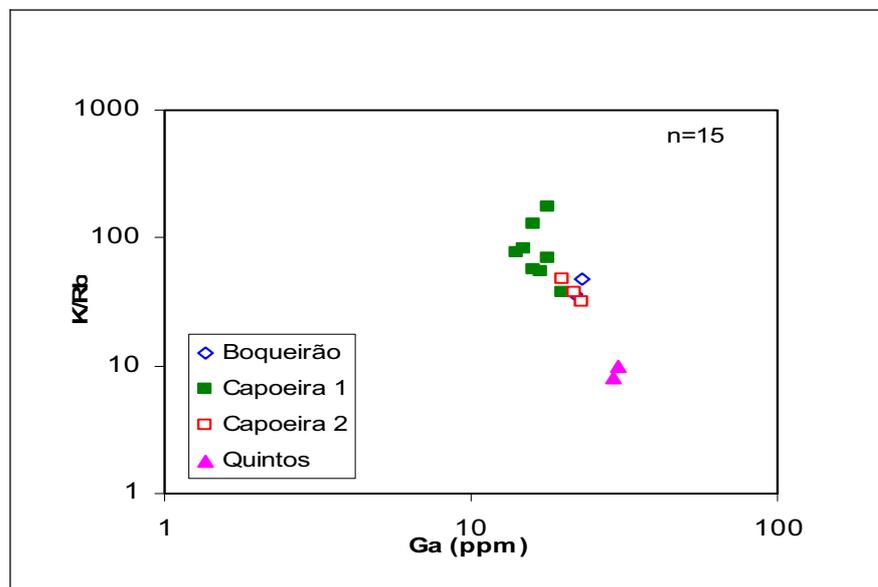


Figura 8.12 – Diagrama K/Rb *versus* Ga para K-feldspato dos pegmatitos estudados; n = número de análises

O conteúdo de Ga nos K-feldspatos varia entre 14 a 30ppm. O diagrama K/Rb *versus* Ga (Figura 8.12) mostra uma razoável correlação negativa, com enriquecimento em Ga ao longo da diferenciação, confirmando o que já foi observado em outros diagramas, ou seja, o pegmatito mais evoluído geoquimicamente é o Quintos.

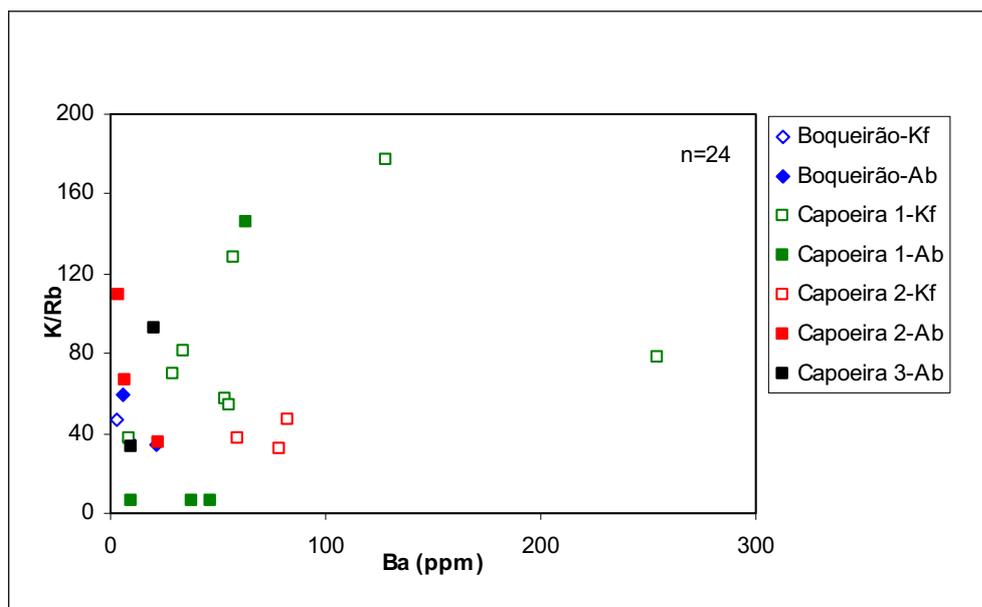


Figura 8.13 – Diagrama K/Rb versus Ba para todos feldspatos dos pegmatitos estudados; n = número de análises; Kf = K-feldspato; Ab = albita

Apesar de não se dispor de dados de Ba para o pegmatito Quintos, o conteúdo de Ba nos feldspatos dos outros pegmatitos estudados mostra grande variação (4 a 109ppm). O diagrama K/Rb versus Ba (Figura 8.13) não mostra uma boa correlação, impossibilitando uma avaliação do seu comportamento ao longo do processo de diferenciação.

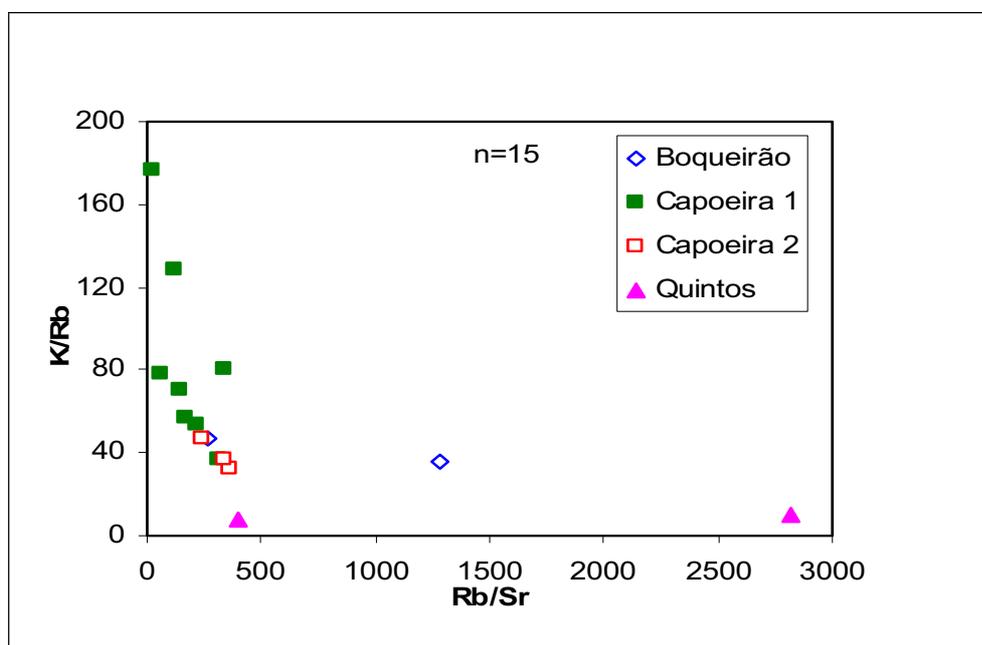


Figura 8.14 – Diagrama K/Rb versus Rb/Sr para K-feldspato dos pegmatitos estudados; n = número de análises

O diagrama K/Rb versus Rb/Sr (Figura 8.14) mostra, como esperado, um aumento da relação Rb/Sr com o incremento da diferenciação. Esses padrões são similares aos encontrados por Larsen (2002) para pegmatitos do SW da Noruega e por Alfonso *et al.* (2003) nos pegmatitos Cap de Creus, Espanha.

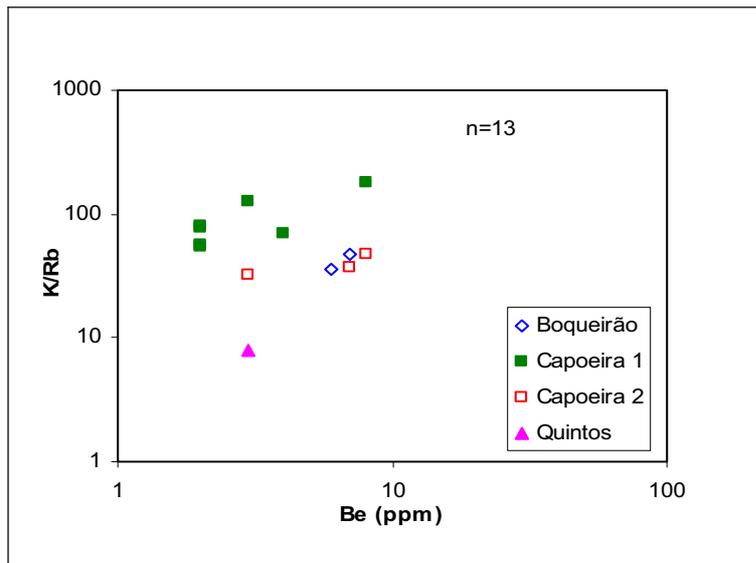


Figura 8.15 - Diagrama K/Rb versus Be para K-feldspato dos pegmatitos estudados; n = número de análises

O elemento Be é pouco estudado em feldspatos de um modo geral, tornando-se difícil parâmetros para comparação. Nos K-feldspatos estudados o Be tem baixo conteúdo variando entre 2 e 8ppm. O diagrama K/Rb versus Be (Figura 8.15) não mostra uma boa correlação, como observado nas muscovitas, não sendo possível se estabelecer um padrão de evolução do Be ao longo do processo de cristalização.

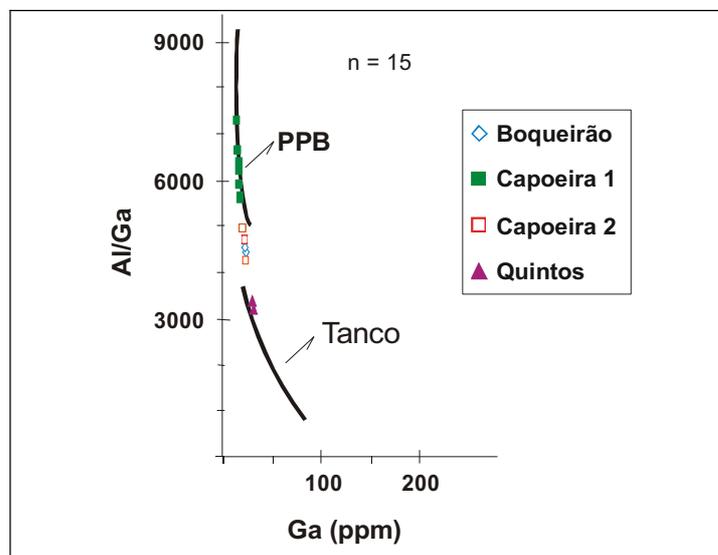


Figura 8.16 – Diagrama Al/Ga versus Ga para K-feldspato dos pegmatitos estudados, comparados com outros dados da PPB (Da Silva, 1993) e do pegmatito Tanco, Canadá (Černý *et al.*, 1985); n = número de análises

A relação Al/Ga nos K-feldspatos estudados varia entre 3253 e 6713. O diagrama Al/Ga versus Ga (Figura 8.16) mostra uma boa correlação negativa, indicado pelo aumento no conteúdo de Ga com a diferenciação, já observada por Černý *et al.* (1985). Comparando estes resultados com os de Černý *et al.* (1985) para vários locais do mundo e com os de Da

Silva (1993), para a PPB, observa-se que os pegmatitos estudados têm um alto nível de evolução, principalmente o pegmatito Quintos, o mais diferenciado deles.

De um modo geral observa-se que o pegmatito Capoeira 2 é mais evoluído que o pegmatito Capoeira 1 e que o pegmatito Quintos é o mais evoluído de todos eles. O pegmatito Boqueirão situa-se numa posição intermediária, com nível de evolução similar ao pegmatito Capoeira 1.

8.3 – Turmalinas

As turmalinas formam um grupo de minerais de extrema complexidade química. Existem muitas propostas para a fórmula química geral do grupo da turmalina. A mais aceita, hoje consenso, é a fórmula proposta por Hawthorne & Henry (1999), expressa por $XY_3Z_6[T_6O_{18}][BO_3]_3V_3W$, onde: $X = Ca, Na, K, \square$ (vacância), $Y = Li, Mg, Fe^{2+}, Mn^{2+}, Al, Cr^{3+}, V^{3+}, Fe^{3+}, (Ti^{4+})$, $Z = Mg, Al, Fe^{3+}, V^{3+}, Cr^{3+}$, $T = Si, Al, (B)$, $B = B$, $V = OH, O$ e $W = OH, F, O$.

De acordo com os autores citados, os membros finais do grupo das turmalinas podem ser definidos, a partir dos elementos químicos dominantes nos seus sítios estruturais, conforme exposto na Tabela 8.5:

Tabela 8.5- Membros finais do grupo das turmalinas (Hawthorne & Henry, 1999).

Especies	X	Y ₃	Z ₆	T ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	V ₃	W	Tipos
Elbaíta	Na	Li _{1,5} Al _{1,5}	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	OH	Turmalinas alcalinas
Dravita	Na	Mg ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	OH	
Cromodravita	Na	Mg ₃	Cr ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	OH	
Schorlita	Na	Fe ²⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	OH	
Olenita	Na	Al ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	O ₃	OH	
Buergerita	Na	Fe ³⁺ ₃	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	O ₃	F	
Povondraitita	Na	Fe ³⁺ ₃	Fe ³⁺ ₄ Mg ₂	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	O	
Uvita	Ca	Mg ₃	Al ₅ Mg	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F	Turmalinas cálcicas
Hidroxiferuvita	Ca	Fe ²⁺ ₃	Al ₅ Mg	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	OH	
Liddicoatita	Ca	Li ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	F	
Rossmannita	\square	LiAl ₂	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	OH	Turmalinas com vacância em X
Foitita	\square	Fe ²⁺ ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	OH	
Magnésiofoitita	\square	Mg ₂ Al	Al ₆	Si ₆ O ₁₈	(BO ₃) ₃	(OH) ₃	OH	

Em função da grande variação química na composição das turmalinas, podendo incorporar uma grande variedade de cátions (Dietrich, 1985), principalmente no sítio estrutural Y, vários autores vêm usando este mineral como indicador petrogenético do ambiente onde se formou (Staatz *et al.*, 1955; Henry & Guidotti, 1985; Arranz Yagüe, 1995, entre outros). Staatz *et al.* (op. cit.) foram os primeiros pesquisadores a estudar a variação química das turmalinas em ambientes pegmatíticos. Para esses autores as turmalinas das zonas de bordo e marginal são mais ricas em Fe, e à medida que se caminha para o núcleo, observa-se um aumento no conteúdo de Li e um decréscimo de Fe. Foord (1977) caracterizou quimicamente turmalinas do pegmatito Himalaya (San Diego, Califórnia) e de

sua encaixante, chegando à mesma conclusão que Staatz *et al.* (op.cit.). Enfatizou que as turmalinas são minerais-chave para se entender a evolução de pegmatitos. London (1990) sugeriu que as turmalinas que ocorrem nas bordas dos pegmatitos são formadas a partir de duas fontes distintas: Mg e Fe provenientes da rocha encaixante e B do próprio pegmatito.

Jolliff *et al.* (1986), visando entender a evolução geoquímica das turmalinas em ambientes pegmatíticos, desenvolveu diagrama ternário com vértices representados por cátions do sítio Y da schorlita (Fe+Mn+Zn), dravita (Mg+Ti) e elbaíta (Li+Al). Eles observaram que nos pegmatitos complexos e altamente diferenciados, as turmalinas das zonas de borda são ricas em Fe, ao passo que nas zonas mais interiores, o teor de Fe diminui, havendo um aumento abrupto de Li+Al, refletindo uma substituição do tipo $2\text{Fe}^{2+} \Leftrightarrow \text{Li}+\text{Al}$.

Selway *et al.* (1999) estudando turmalinas de pegmatitos de elementos raros, subtipo lepidolita, determinaram sua seqüência de cristalização e mostraram que a evolução química das turmalinas pode ser avaliada através de relações gráficas do tipo $[\text{Na}/(\text{Na}+\square)]_x$ versus $[\text{Fe}/(\text{Fe}+\text{Mg})]_y$.

Ao longo da evolução química das turmalinas observa-se um incremento de Al e aumento no déficit de álcalis (London, 1999), havendo uma tendência para formação de altas vacâncias em elbaítas de pegmatitos com alto nível de diferenciação, como por exemplo 0,42 em elbaíta do pegmatito Dobrá Voda, República Checa (complexo, subtipo lepidolita) e 0,45 em elbaíta de White Queen mine, Pala, Califórnia (complexo, subtipo lepidolita), conforme Novák & Taylor (2000).

O zoneamento composicional é uma característica muito comum e importante no estudo de turmalinas de pegmatitos, notadamente em elbaítas. Segundo Jolliff *et al.* (1986), o zoneamento não se constitui em uma simples variação contínua, mas envolve uma seqüência de repetições que pode resultar de uma ou várias mudanças na taxa de cristalização ou na mudança nas variáveis intensivas (P,T,X) do meio de cristalização. Não é necessariamente resultado de uma cristalização rápida.

As turmalinas dos pegmatitos da Província Pegmatítica da Borborema (PPB) ocorrem nas variedades schorlita, dravita e elbaíta. Alguns pegmatitos da PPB, como São José da Batalha (Henn *et al.*, 1990; Rossman *et al.*, 1991; Barreto, 1999, entre outros), Capoeira (Barreto, 1999), Bulandeira (Barreto, 1999) e Quintos (Soares, 1998) são portadores de elbaítas-gemas de cor azul turquesa, de excepcional qualidade, conhecidas internacionalmente por "Paraíba tourmaline" (turmalina Paraíba), de alto conteúdo de CuO. Barreto (1999), estudando elbaítas da região encontrou excepcionais conteúdos de Bi_2O_3 nas turmalinas do pegmatito Bulandeira (média de 3,46%, em peso) e dos pegmatitos Capoeira (média de 2,17%, em peso).

As turmalinas estudadas neste trabalho são cristais prismáticos, de seções basais em geral triangulares, com dimensões e cores variadas, ocorrendo em diversas unidades dos

pegmatitos. As turmalinas gemológicas ocorrem geralmente associadas à albita, micas e quartzo, nas porções interiores dos corpos pegmatíticos. As turmalinas das zonas I e II desses corpos pegmatíticos mostram coloração negra a olho nu e pertencem à série schorlita-dravita. Turmalinas de corpos de substituição, de zonas de albita ou de cavidades mirolíticas ocorrem em diversas colorações, quase sempre com pronunciado zoneamento de cores, estando inseridas na série elbaíta-schorlita.

Os dados químico-analíticos apresentados a seguir correspondem exclusivamente a resultados obtidos através de microsonda eletrônica (Instituto de Geociências, USP), onde Li e B não são analisados. Tentativamente foram realizadas ainda 13 análises via ICP-MS com dois tipos de abertura, respectivamente água régia e tetraborato de Li, visando obter melhores resultados de elementos traços, além de Li, Be, Bi e B. As análises não mostraram resultados satisfatórios nem mesmo para os elementos maiores, sugerindo completa ineficiência na abertura das amostras e, por isso não serão aqui considerados. Nas Tabelas 8.6 (a) e (b) mostra-se a comparação de alguns dados analíticos obtidos por MSE e ICP-MS para turmalinas, ilustrando a deficiência dos dados obtidos por ICP-MS.

Nos itens 8.3.1 a 8.3.3 serão apresentados inicialmente os dados analíticos obtidos respectivamente para as turmalinas dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos com abordagem às características cristal químicas mais proeminentes. A discussão mais detalhada e comparação dos dados entre os diferentes pegmatitos será realizada em conjunto, em item adicional, onde todos os dados são plotados em gráficos apropriados.

Nos cálculos estequiométricos utiliza-se a metodologia clássica: cálculo dos cátions para um total de 24,5 (O) devido à ausência de análises de Li e B. Considera-se B como 3apfu, O+OH no sítio W como 4apfu e Li igual a 3apfu (valor teórico do sítio Y) menos a soma de cátions do sítio Y. Assume-se que todo o Fe seja Fe^{2+} , conforme Tindle *et al.* (2002). Isto é consistente para a quase totalidade das turmalinas estudadas, pois elas têm excesso de Al e muitas vezes excesso de Si ($Si > 6,00apfu$), estando os sítios Y e T completos, não havendo portanto necessidade de Fe^{3+} para preencher este sítio estrutural. Segundo Novák & Taylor (2003), quando a soma da carga dos cátions é igual ou superior a 58, está descartada a presença de Fe^{3+} . A soma da carga dos cátions das turmalinas estudadas é, na maioria dos casos, maior ou igual a 58, indicando que Fe^{3+} não está presente na maioria delas. Nos poucos casos em que a soma da carga dos cátions é menor que 58, este valor é inferior em no máximo 0,35, indicando que Fe^{3+} , se presente, tem conteúdo muito baixo. Esta metodologia tem suas deficiências: não permite o cálculo da vacância em Y, e pode às vezes extrapolar o valor de Li. Entretanto Li assim calculado é usado por autores como Tindle *et al.* (2002) e Novák & Taylor (2000) em estudos petrogenéticos de pegmatitos.

Tabela 8.6 – Comparação entre dados analíticos de turmalinas estudadas obtidos por: (a) MSE e (b) ICP-MS

(a) Dados de Microsonda eletrônica (MSE)

Óxidos (%peso)	BO-007	BO-008b	CA1-005	CA2-003	CA3-001	QB-001
TiO ₂	0,03	0,03	0,48	0,30	0,32	0,18
Al ₂ O ₃	40,65	38,08	35,17	31,43	31,66	31,51
FeO	1,09	1,57	9,01	8,73	7,87	7,12
MnO	1,87	2,65	0,60	0,26	0,21	0,22
MgO	0,03	0,00	1,83	6,10	7,12	7,37
CaO	0,17	0,51	0,10	0,19	0,46	0,33
Na ₂ O	2,03	2,23	2,3	2,43	2,28	2,35
CuO	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
ZnO	0,05	na	0,47	0,07	na	na

(b) Dados de ICP-MS

Óxidos (%peso)	BO-007	BO-008b	CA1-005	CA2-003	CA3-001	QB-001
TiO ₂	0,02	0,01	0,10	0,06	0,04	0,04
Al ₂ O ₃	5,84	7,79	7,41	4,52	4,27	4,04
FeO	0,05	0,49	1,56	1,13	1,00	0,95
MnO	0,26	0,40	0,08	0,06	0,08	0,15
MgO	0,02	<ld	0,61	0,60	0,60	0,51
CaO	0,06	0,04	0,04	0,35	0,24	0,39
Na ₂ O	0,28	0,50	0,36	0,31	0,28	0,26
CuO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZnO	0,02	0,05	0,06	0,04	0,03	0,03

na = não analisado; <ld = abaixo do limite de detecção

8.3.1 – Turmalinas do Pegmatito Boqueirão

No pegmatito Boqueirão foram analisadas 7 amostras de elbaítas de coloração rósea, verde, azul claro, cinza, bem como elbaítas multicoloridas: verde/rósea/azul escuro/azul claro/ rósea/verde, todas ocorrendo em cavidades miarolíticas na porção ESE do pegmatito, supostamente correspondente a um corpo de substituição (Tavares, 2001), estando associadas principalmente a albita (cleavelandita), quartzo, morganita e micas tardias, assim como uma amostra de schorlita da zona II, de cor preta (azul escuro em lâmina delgada), associada a K-feldspato e quartzo. Nas Tabelas 8.7 e 8.8 mostra-se valores médios das análises químicas das elbaítas (zonadas e não zonadas) e schorlitas, com estequiometria calculada para 24,5 (O). Dados individuais de cada ponto analisado estão disponíveis no Anexo IV.

A schorlita que ocorre na Zona II do pegmatito tem baixa vacância (0,23 a 0,26). A relação Fe/(Fe+Mg) varia entre 0,62 e 0,63 e conteúdo de Li (calculado) entre 0,17 e 0,27apfu, indicando a presença dos componentes dravita e elbaíta. Diferentemente das elbaítas azuis escuras deste pegmatito, estas schorlitas têm baixo conteúdo de Zn (0,04 a 0,05apfu), valores similares aos apresentados pelas outras schorlitas-dravitas.

As elbaítas do pegmatito Boqueirão aparentemente apresentam variações químicas pouco intensas em termos de elementos maiores, à exceção do Fe, que mostra valores mais altos nas turmalinas mais enriquecidas em Zn. De um modo geral apresentam uma vacância no sítio estrutural X muito variável (0,19 a 0,42apfu, com a maioria dos valores concentrados entre 0,20 e 0,30apfu), baixo conteúdo de Al no sítio Y, baixo conteúdo de CuO, alto conteúdo de Fe²⁺ e conteúdo de Mn geralmente maior que turmalinas de cores similares dos outros pegmatitos estudados, sendo completamente diferentes das turmalinas azul turquesa do pegmatito Capoeira 2, que apresentam altos conteúdos de CuO, alto Al(Y) e baixo Fe²⁺ e grande vacância no sítio estrutural X. Na elbaíta zonada de cores verde (borda) e rósea (núcleo) no pegmatito Boqueirão, a faixa verde tem conteúdo de Fe bem superior ao da faixa rósea, enquanto que a faixa rósea tem normalmente maior vacância que a faixa verde. As elbaítas de cor azul escuro deste pegmatito caracterizam-se quimicamente por altos conteúdos de ZnO (1,63 a 2,43%). Barreto (1999) estudando elbaítas na PPB encontrou também altos conteúdos de Zn (até 2,72%) em elbaítas azul escuro. Ferreira (1998) estudando elbaítas do pegmatito Alto Quixaba, Paraíba, encontrou conteúdos de ZnO de até 2,95% em elbaítas verdes e até 3,01% para elbaítas azuis esverdeadas. Também César Mendes (1995) encontrou conteúdos de até 1,957% de ZnO em elbaítas da zona intermediária interna do pegmatito Mina do Cruzeiro, Minas Gerais. Estes altos conteúdos de ZnO em turmalinas são pouco citados e ainda pouco entendidos.

8.3.2 – Turmalinas dos Pegmatitos Capoeira

Nos pegmatitos Capoeira estudou-se turmalinas da série schorlita-dravita e elbaíta, com valores médios exibidos na Tabela 8.9 e com dados completos no Anexo IV.

No pegmatito Capoeira 1 todas as turmalinas analisadas pertencem à série schorlita-dravita, não se observando a presença de elbaíta. Nos pegmatitos Capoeira 2 e 3 ocorrem dravitas na zona de contato e elbaítas nos limites da zona de albíta com o núcleo de quartzo.

No pegmatito **Capoeira 1** estudou-se 2 cristais de turmalinas da série schorlita-dravita, provenientes das zonas I e II, caracterizadas pela predominância de Na no sítio estrutural X e Mg (dravita) ou Fe (schorlita) no sítio Y e um cristal de turmalina da série schorlita-elbaíta, de cor verde escuro, quase preto, com Fe variando entre 1,18 a 1,27apfu e Al+Li (no sítio Y) variando entre 1,08 a 1,19apfu, proveniente de corpo de substituição, associada principalmente a albíta, muscovita e quartzo. Apresentam-se sob a forma de cristais euédricos, geralmente fraturados, de dimensões muito variadas (milimétricas a centimétricas) e cor preta característica. Estão associadas a albíta, quartzo, K-feldspato, muscovita e fosfatos.

Tabela 8.7- Análises químicas (valores médios) de turmalinas não zonadas (elbaítas e schorlitas**) do pegmatito Boqueirão (BO), obtidas por microsonda eletrônica no Instituto de Geociências, USP. Cátions calculados para 24,5 (O), considerando B=3apfu, Li=3-ΣY e OH+F=4; n = número de análises; n.a. = não analisado; Fe* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg); Na* = Na/(Na+Ca); ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos %peso	BO-007a	BO-008a	BO-008b	BO-008c	BO-011**
	cinza	azul clara	verde	rósea	azul escura
SiO ₂	37,88	37,85	37,76	38,39	35,75
TiO ₂	0,00	0,01	0,03	0,03	0,26
Al ₂ O ₃	38,89	38,79	38,08	38,66	33,13
FeO	2,11	1,76	1,57	0,64	10,47
MnO	1,81	1,85	2,65	1,19	0,53
MgO	0,04	0,03	0,00	0,01	3,49
CaO	0,11	0,12	0,51	0,78	0,08
Na ₂ O	2,09	2,23	2,23	2,00	2,28
K ₂ O	0,02	0,02	0,01	0,02	0,05
CuO	0,02	0,01	0,00	0,01	0,01
F	0,80	0,94	1,32	1,23	0,40
ZnO	0,18	n.a.	n.a.	n.a.	0,38
Total	83,96	83,61	84,18	82,95	86,81
n	5	9	4	6	10
apfu					
Ca	0,02	0,04	0,09	0,13	0,01
Na	0,65	0,73	0,69	0,62	0,73
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Vac.	0,32	0,23	0,22	0,24	0,25
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Al	1,35	1,26	1,17	1,28	0,33
Li	1,01	1,08	1,22	1,34	0,22
Fe	0,28	0,30	0,21	0,09	1,44
Mn	0,25	0,31	0,36	0,16	0,07
Mg	0,01	0,01	0,00	0,00	0,86
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,02				0,05
Si	0,08	0,05	0,04	0,13	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	6,00	6,00	6,00	5,90
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,59	3,51	3,33	3,38	3,79
F	0,41	0,49	0,67	0,62	0,21
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,97	0,98	1,00	0,98	0,63
Na*	0,97	0,95	0,89	0,82	0,98
ΣC⁺	58,52	58,32	58,11	58,34	58,08

Tabela 8.8 – Análises químicas (valores médios) obtidas por microsonda eletrônica no Instituto de Geociências, USP, para elbaítas zonadas do pegmatito Boqueirão (BO), provenientes de corpo de substituição (por faixas de cores). Cátions calculados para 24,5 (O), considerando B=3apfu, Li=3- Σ Y e OH+F= 4 (n = número de análises) Fe* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg); Na* = Na/(Na+Ca); Σ C⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	BO-007			BO-007b			
	Verde	Rósea	Verde	Azul escuro	Azul claro	Rósea	Verde
SiO ₂	38,06	38,05	37,42	37,00	37,49	37,19	37,31
TiO ₂	0,04	0,01	0,08	0,00	0,00	0,00	0,05
Al ₂ O ₃	39,15	41,77	38,44	38,00	40,03	39,74	39,65
FeO	2,26	0,12	3,45	3,99	1,24	1,54	1,39
MnO	1,93	1,89	1,63	1,24	2,42	2,52	2,40
MgO	0,10	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01	0,01
CaO	0,25	0,13	0,23	0,08	0,24	0,25	0,27
Na ₂ O	2,23	1,90	2,22	2,15	2,06	2,22	2,10
K ₂ O	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01
CuO	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
F	1,13	0,69	1,08	0,69	1,03	1,28	1,14
ZnO	0,10	0,02	0,07	2,16	0,19	0,27	0,20
Total	85,26	84,60	84,64	85,39	84,73	85,04	84,53
n	3	6	1	3	3	1	1
apfu							
Ca	0,04	0,02	0,04	0,01	0,04	0,04	0,05
Na	0,68	0,58	0,69	0,67	0,63	0,68	0,65
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Vac.	0,27	0,40	0,27	0,31	0,32	0,27	0,30
Σ X	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Al	1,29	1,72	1,24	1,22	1,42	1,30	1,36
Li	1,10	1,01	1,06	0,80	1,07	1,12	1,10
Fe	0,30	0,02	0,46	0,54	0,16	0,20	0,19
Mn	0,26	0,25	0,22	0,17	0,32	0,34	0,32
Mg	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,01	0,00	0,01	0,26	0,02	0,03	0,02
Si	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Σ Y	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Σ Z	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	5,98	5,99	5,98	5,94	5,89	5,93
Al	0,00	0,02	0,01	0,02	0,06	0,11	0,07
Σ T	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Σ B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,44	3,66	3,45	3,65	3,48	3,36	3,43
F	0,56	0,34	0,55	0,35	0,52	0,64	0,57
Σ W	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,92	0,95	1,00	0,98	0,99	0,98	0,98
Na*	0,94	0,96	0,95	0,98	0,94	0,94	0,93
Σ C ⁺	58,26	58,72	58,23	58,41	58,34	58,11	58,26

Tabela 8.9 - Análises químicas (valores médios) obtidas por microsonda eletrônica no Instituto de Geociências, USP, para turmalinas dos pegmatitos Capoeira. Cátions calculados para 24,5 (O), considerando B=3apfu, Li=3-ΣY e OH+F= 4 (n = número de análises; n.a. = não analisado) $Fe^* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$; $Na^* = Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	CA1-001	CA1-020	CA1-005	CA2-007	CA2-003	CA2-003a	CA2-002	CA2-002a	CA3-001	CA3-001a
%peso	dravita-schorlita						elbaíta azul turquesa		dravita-schorlita	
SiO ₂	36,85	36,20	35,27	36,66	36,20	35,95	37,65	37,91	36,39	36,26
TiO ₂	0,20	0,31	0,48	0,12	0,30	0,27	0,01	0,02	0,32	0,28
Al ₂ O ₃	32,84	32,98	35,17	31,02	31,43	31,77	40,75	41,45	31,66	32,39
FeO	7,47	8,61	9,01	7,70	8,73	8,60	0,02	0,04	7,87	8,16
MnO	0,31	0,29	0,60	0,12	0,26	0,28	0,82	0,58	0,21	0,31
MgO	6,53	5,36	1,83	7,54	6,10	5,85	0,00	0,00	7,12	5,94
CaO	0,12	0,19	0,10	0,30	0,19	0,17	0,41	0,17	0,46	0,18
Na ₂ O	2,30	2,17	2,30	2,16	2,43	2,39	1,79	1,80	2,28	2,12
K ₂ O	0,05	0,05	0,03	0,04	0,05	0,05	0,01	0,01	0,05	0,04
CuO	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,75	0,57	0,01	0,01
F	0,15	0,32	0,55	0,26	0,22	0,15	0,90	0,71	0,30	0,26
ZnO	0,29	0,19	0,47	0,17	0,07	0,11	n.a.	n.a.	n.a.	0,19
Total	87,13	86,66	85,84	86,09	86,00	85,60	83,12	83,26	86,67	86,13
n	5	7	12	7	7	10	7	6	6	6
apfu										
Ca	0,02	0,03	0,02	0,05	0,03	0,03	0,07	0,03	0,08	0,03
Na	0,72	0,69	0,74	0,69	0,78	0,77	0,55	0,56	0,72	0,67
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Vac.	0,25	0,27	0,24	0,25	0,17	0,19	0,37	0,41	0,19	0,29
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,02	0,04	0,06	0,02	0,04	0,03	0,00	0,00	0,04	0,03
Al	0,23	0,25	0,64	0,00	0,08	0,17	1,64	1,76	0,02	0,21
Li	0,08	0,16	0,47	0,04	0,13	0,10	1,13	1,02	0,11	0,12
Fe	1,01	1,18	1,24	1,05	1,21	1,19	0,00	0,00	1,07	1,12
Mn	0,04	0,04	0,08	0,02	0,04	0,04	0,11	0,11	0,03	0,04
Mg	1,58	1,30	0,45	1,84	1,50	1,45	0,00	0,00	1,73	1,45
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,09	0,00	0,00
Zn	0,03	0,02	0,06	0,02	0,01	0,01				0,02
Si	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	5,99	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	5,99	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,96	5,91	5,81	6,00	5,97	5,96	5,98	6,00	5,93	5,95
Al	0,04	0,09	0,19	0,00	0,02	0,04	0,02	0,02	0,06	0,05
ΣT	6,00	6,00	6,00	5,99	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,93	3,84	3,71	3,86	3,89	3,92	3,57	3,64	3,84	3,86
F	0,07	0,16	0,29	0,14	0,11	0,08	0,43	0,36	0,16	0,14
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,39	0,47	0,73	0,36	0,45	0,45	0,94	0,95	0,38	0,44
Na*	0,97	0,95	0,98	0,93	0,96	0,96	0,89	0,95	0,90	0,95
ΣC⁺	58,18	58,11	58,13	58,04	58,03	58,13	58,61	58,86	57,99	58,14

CA1=pegmatito Capoeira 1; CA2 = pegmatito Capoeira 2; CA3 = pegmatito Capoeira 3

Estas turmalinas da série schorlita-dravita normalmente não mostram grandes variações em termos de elementos maiores, exceto Fe. Têm baixo conteúdo de Al, Cu, Zn, Mn, Li e vacância. Observa-se que ao longo do processo de cristalização do pegmatito as turmalinas foram aumentando o seu conteúdo em Fe, concomitante com o seu empobrecimento em Mg, de tal forma que as dravitas passam gradualmente para schorlita com a continuação do empobrecimento em Mg e para schorlita-elbaíta, em corpos de substituição.

Relações $Fe/(Fe+Mg)$ nas turmalinas são, em valores médios, de 0,39 na zona I, 0,47 na zona II e 0,73 nos corpos de substituição. Relações $Na/(Na+Ca)$ são, em média de 0,97 na zona I, 0,95 na zona II e 0,98 em corpos de substituição.

No pegmatito **Capoeira 2** foram estudadas amostras de dravita e elbaíta. A dravita ocorre nas zonas I e II, associadas a feldspatos, quartzo, muscovita e espessartita. Diferentemente do pegmatito Capoeira 1, esta dravita não passa a schorlita ao longo do processo de cristalização do pegmatito. A dravita tem baixo conteúdo de Al, Cu, Zn, Mn e vacância. Relação $Fe/(Fe+Mg)$ na dravita do pegmatito Capoeira 2 são, em média, de 0,36 na zona I e 0,45 na zona II. Relação $Na/(Na+Ca)$ varia, em média, de 0,92 na zona I e 0,96 na zona II, comportamento inverso do que ocorre no pegmatito Capoeira 1, onde há uma diminuição de Na da zona I para a zona II.

A elbaíta ocorre na zona de albita, associada a albita, quartzo, muscovita, principalmente nas cores azul turquesa e rósea pálida, às vezes zonadas, sob a forma de cristais euédricos, com dimensões milimétricas a centimétricas, crescendo em direção ao núcleo do pegmatito.

Também observou-se a presença de elbaíta azul turquesa com núcleo parcialmente substituído por albita. Para elbaíta azul turquesa, as relações $Fe/(Fe+Mg)$ são, em média, de 0,87 e relações $Na/(Na+Ca)$ são, em média, de 0,90. As elbaítas de cor azul turquesa do pegmatito Capoeira 2, têm comportamento químico mostrando vacância no sítio X relativamente alta (0,33 a 0,40apfu), baixos conteúdos de F, Zn, Fe, Ti e altos conteúdos de Al no sítio estrutural Y, com valores quase sempre maiores que 1, 60 apfu, correspondendo a mais de 50% do total desta posição estrutural.

O conteúdo de F das turmalinas aumenta das dravitas, para as elbaítas, sendo, no entanto, ambas pobres em F. As elbaítas de cor azul turquesa, além de alto conteúdo em CuO e grande vacância, são ricas em Al, semelhantes às famosas elbaítas de São José da Batalha, conhecidas como “turmalina Paraíba”.

No pegmatito **Capoeira 3** estudou-se dravitas da Zona I e II. Estas turmalinas ocorrem associadas com feldspatos, quartzo, muscovita e espessartita, sem orientação preferencial. Como as demais dravitas, têm baixo conteúdo de Al, Cu, Zn, Mn e baixa vacância no sítio X.

Relações $Fe/(Fe+Mg)$ variam, em média, de 0,38 na dravita da zona I para 0,44 nas dravitas da zona II. Esta seqüência mostra um aumento no conteúdo de Fe, não sendo, porém suficiente para transformar dravita em schorlita, como ocorre no pegmatito Capoeira 1. Relações $Na/(Na+Ca)$ aumentam, em média, de 0,90 nas dravitas da zona I para 0,96 para as dravitas da zona II, similar às turmalinas do pegmatito Capoeira 2.

8.3.3 – Turmalinas do Pegmatito Quintos

No pegmatito Quintos estudou-se dravita e elbaíta, conforme exibido na Tabela 8.10, a seguir.

A dravita ocorre na zona I, associada com albita, quartzo, muscovita, zircão, apatita e magnetita. Nestas dravitas ocorrem inclusões de zircão, que também estão presentes em quartzo e espessartita. A elbaíta associa-se principalmente com albita, quartzo, micas tardias, ocorrendo nas cores rósea e azul turquesa, normalmente nas partes internas e inferiores do corpo. É geralmente zonada, com faixas verde escuro ou preto nas bordas, azul turquesa na faixa intermediária e rósea na porção interior, com a faixa azul geralmente de menor espessura. Seu núcleo de cor rósea ou vermelha, normalmente está substituído por lepidolita. Também são encontrados cristais de elbaíta não zonados nas cores azul clara ou escura, rósea, verde ou lilás.

A dravita mostra baixo conteúdo de Al, Cu, Zn, Mn, e baixa vacância na posição X, com relação $Fe/(Fe+Mg)$, em média, de 0,33, indicando baixo conteúdo do componente schorlita em sua molécula e relação $Na/(Na+Ca)$ média de 0,92.

As elbaítas deste pegmatito mostram baixo conteúdo de Fe, Mg, Mn, Zn, média a alta vacância no sítio X (0,26 a 0,49apfu, com menores valores para a elbaíta azul escuro) e alto conteúdo de Al (Y), chegando a 1,94apfu, que corresponde a 64,7 % do total do sítio estrutural Y e alto conteúdo de CuO (até 1,73apfu na elbaíta azul claro). As elbaítas de cor azul clara e escura têm conteúdo de Fe de 0,00 a 0,02apfu e de 0,00 a 0,01apfu, similares ao conteúdo de Fe das elbaítas azuis turquesas do pegmatito Capoeira 2 (0,00 a 0,01apfu), indicando que o componente schorlita praticamente não existe. A elbaíta de cor azul escura não apresenta alto conteúdo de Zn como ocorre na elbaíta de cor similar do pegmatito Boqueirão, mas tem conteúdo de Mn (0,23 a 0,30apfu) maior que a elbaíta azul clara (0,03 a 0,05apfu). Na elbaíta zonada de cores verde e rósea, a faixa verde tem conteúdo de Fe maior que a faixa rósea, do mesmo modo que a elbaíta de cores similares do pegmatito Boqueirão. Por faixa de cores temos os seguintes valores médios para a relação $Fe/(Fe+Mg)$: azul clara, 0,91; azul escura, 0,90; rósea, 0,95; verde, 1,00. Para a relação $Na/(Na+Ca)$, os valores médios são: azul clara, 0,89; azul escura, 0,92; rósea, 0,94; verde, 0,98.

Tabela 8.10- Análises químicas (valores médios) obtidas a partir de microsonda eletrônica no Instituto de Geociências, USP, para dravita e elbaíta (*) do pegmatito Quintos (n = número de pontos analisados; n.a. = não analisado). Cátions calculados para 24,5 (O), considerando B=3apfu, Li=3- Σ Y e OH+F=4 o $Fe^* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$; $Na^* = Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	QB-001	QB-001b	QB-007	QB-007a	QB-025	QB-002	
	dravita		azul clara*	rósea*	azul escura*	verde*	rósea*
SiO ₂	36,02	36,24	38,10	37,98	36,77	37,28	36,98
TiO ₂	0,18	0,17	0,05	0,02	0,04	0,02	0,01
Al ₂ O ₃	31,51	31,01	41,19	41,83	40,03	41,64	40,72
FeO	7,12	6,42	0,08	0,08	0,04	0,01	0,20
MnO	0,22	0,20	0,30	0,20	1,96	0,22	0,50
MgO	7,37	7,92	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
CaO	0,33	0,42	0,50	0,08	0,31	0,06	0,31
Na ₂ O	2,35	2,43	1,82	1,75	2,12	1,77	1,77
K ₂ O	0,05	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
CuO	0,01	0,01	1,21	0,48	1,02	0,39	0,87
F	0,27	0,45	0,87	0,65	1,23	0,53	0,78
ZnO	n.a.	0,16	n.a.	n.a.	0,03	n.a.	n.a.
Total	85,42	85,49	84,14	83,09	83,57	81,94	82,17
n	6	10	5	3	10	2	4
apfu							
Ca	0,06	0,07	0,07	0,01	0,05	0,01	0,05
Na	0,75	0,77	0,56	0,54	0,66	0,55	0,56
K	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vac.	0,18	0,14	0,37	0,45	0,29	0,43	0,39
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	0,07	0,01	1,64	1,82	1,43	1,90	1,71
Li	0,09	0,11	1,14	1,05	1,17	1,02	1,08
Fe	0,98	0,88	0,01	0,01	0,01	0,00	0,03
Mn	0,03	0,03	0,04	0,03	0,27	0,03	0,07
Mg	1,81	1,94	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,14	0,06	0,12	0,05	0,11
Zn		0,02			0,00		
Si	0,00	0,00	0,018	0,03	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	5,99	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	5,99	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,94	5,95	5,99	6,00	5,88	6,00	5,97
Al	0,06	0,00	0,01	0,00	0,12	0,00	0,05
ΣT	5,99	5,95	6,00	6,00	6,00	6,00	6,01
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,86	3,77	3,57	3,67	3,38	3,73	3,60
F	0,14	0,23	0,43	0,33	0,62	0,27	0,40
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,35	0,31	0,91	1,00	0,90	1,00	0,92
Na*	0,93	0,91	0,89	0,97	0,92	0,98	0,92
ΣC^+	58,02	57,78	58,61	58,85	58,21	58,91	58,71

8.3.4 – Caracterização e Classificação das Turmalinas Estudadas

A composição química das turmalinas estudadas caracteriza-se, de um modo geral, por concentrações de Si, Fe, Ti, Mn e Mg dentro da faixa de valores típicos do grupo das turmalinas. F varia muito de um cristal de turmalina para outro ou, às vezes, mesmo de um ponto para outro dentro de um mesmo cristal. De um modo geral F aumenta das dravitas-schorlitas para as elbaítas. A vacância no sítio estrutural X das turmalinas estudadas varia entre média a alta, e em cristais individuais não seguem uma regra comum de evolução borda-núcleo.

De acordo com Hawthorne & Henry (1999) as turmalinas podem ser classificadas, segundo o sítio estrutural X, em grupo cálcico, grupo alcalino e grupo de vacância, conforme a predominância de Ca, Na ou vacância (\square), através do diagrama ternário Ca-vacância-Na(+K), conforme mostrado na Figura 8.17.

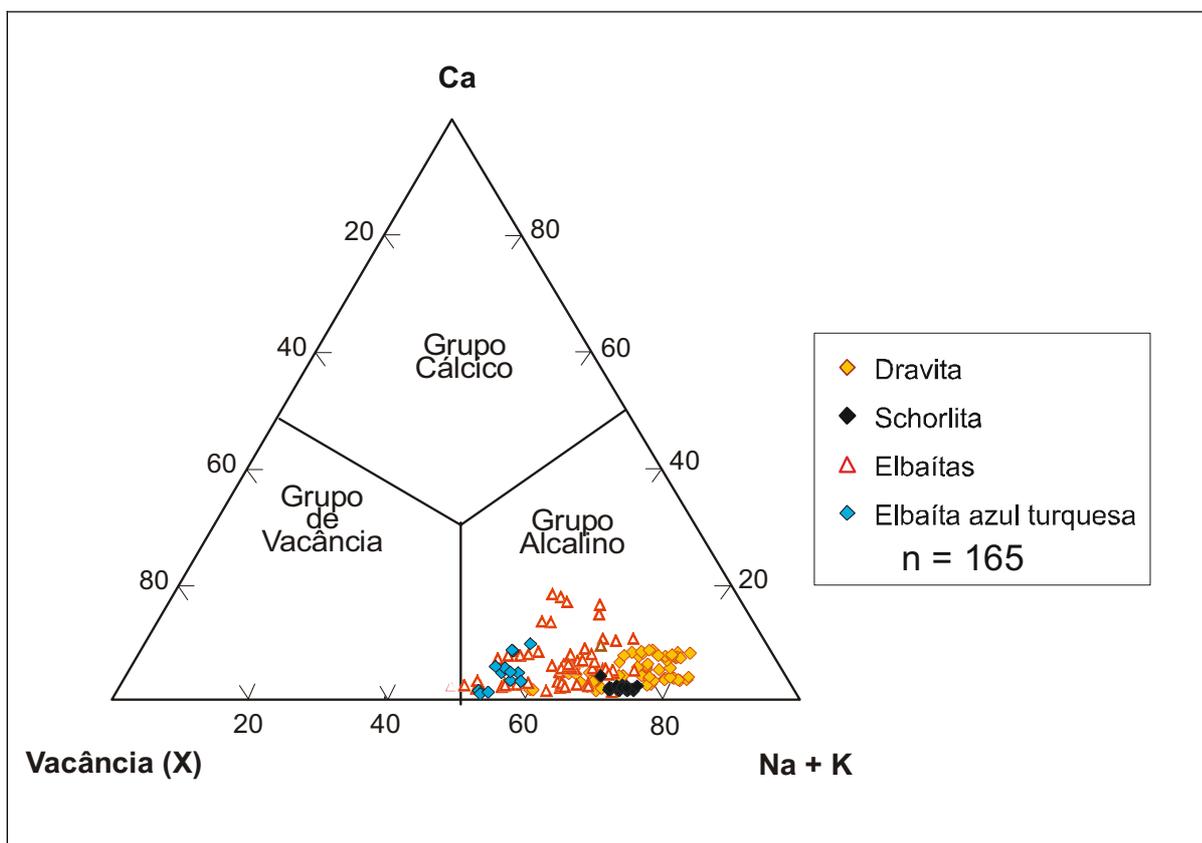


Figura 8.17 – Diagrama ternário Ca- \square -(Na+K) para turmalinas estudadas, segundo a classificação de Hawthorne & Henry (1999). n = número de análises

As turmalinas estudadas inserem-se todas no grupo das turmalinas alcalinas, que é constituído de elbaíta, dravita, cromodravita, schorlita, olenita, buergerita e povondraíta (Hawthorne & Henry, 1999), conforme Tabela 8.5, onde o elemento Na domina o sítio X. Observa-se que estas turmalinas são extremamente pobres em Ca, o que é normal em schorlitas-dravitas e elbaítas provenientes de pegmatitos. O conteúdo de K também é muito baixo, mas ele está subordinado ao Na, dominante do vértice direito do diagrama. A

vacância é, em alguns casos muito alta, notadamente nas elbaítas comuns e nas elbaítas de cor azul turquesa (turmalina Paraíba), onde seu valor corresponde a quase 50% do sítio estrutural X.

Dietrich (1985) classifica as turmalinas (schorlita-dravita-elbaíta) utilizando o diagrama ternário Fe^{2+} -Mg-[Al(Y)+Li], onde os vértices são os cátions dominantes no sítio estrutural Y, considerando $\text{Na} > \text{Ca}$ no sítio X, conforme exibido na Figura 8.18.

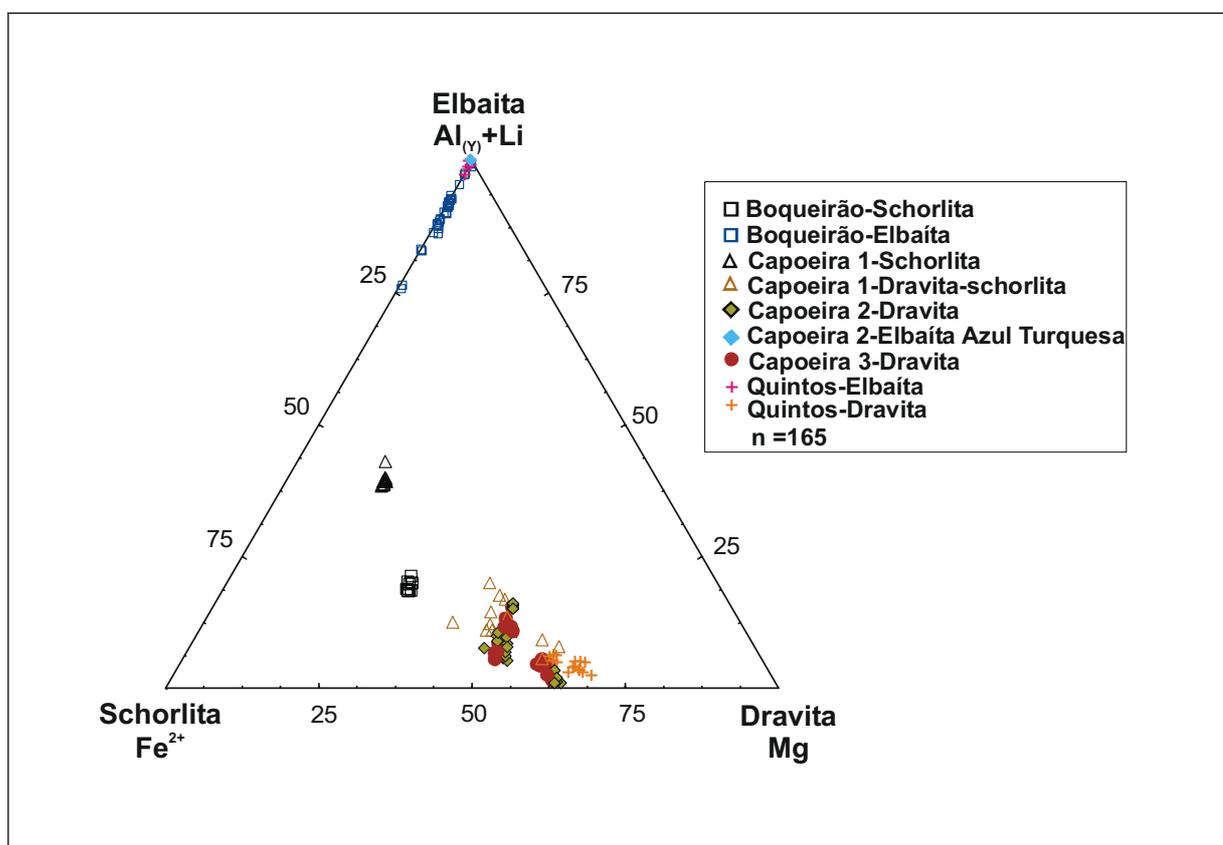


Figura 8.18 – Diagrama ternário Fe^{2+} -Mg-[Al(Y)+Li], em apfu, para turmalinas estudadas, considerando $\text{Na} > \text{Ca}$ no sítio estrutural X, conforme Dietrich (1985)

O diagrama Fe^{2+} -Mg-[Al(Y)+Li] mostra que as elbaítas dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos, praticamente não tem nenhum componente schorlita ou dravita, diferentes das elbaítas do pegmatito Boqueirão, que têm conteúdo razoável de Fe, evidenciando a presença do componente schorlita, sendo plotadas, na maioria dos casos, longe do vértice $\text{Al}_{(Y)} + \text{Li}$. Um pequeno grupo de turmalinas do pegmatito Capoeira 1 situa-se em posição intermediária entre elbaíta e schorlita, com predomínio do componente schorlita; são schorlita-elbaítas provenientes de corpo de substituição, que apresentam conteúdo de Fe variando entre 1,18 a 1,27apfu e $\text{Li} + \text{Al}$ variando entre 1,08 a 1,19apfu, com relação $\text{Fe}/(\text{Fe} + \text{Mg})$ maior que 0,7. As dravitas do pegmatito Capoeira 2 têm, em alguns casos, considerável conteúdo do componente schorlita. As dravitas do pegmatito Quintos têm o

menor conteúdo do componente schorlita de todas as dravitas estudadas, mostrando que elas são dravitas mais puras que as demais.

Henry & Guidotti (1985) entendendo que turmalina é um mineral que pode ser útil como mineral indicador do seu ambiente de formação devido à sua estabilidade química e mecânica, apesar do grande número de substituições químicas possíveis e de seu forte zoneamento, propuseram um diagrama ternário com vértices representados por Al – Fe – Mg, obtidos a partir de turmalinas provenientes de diversas litologias, conforme mostrado na Figura 8.19.

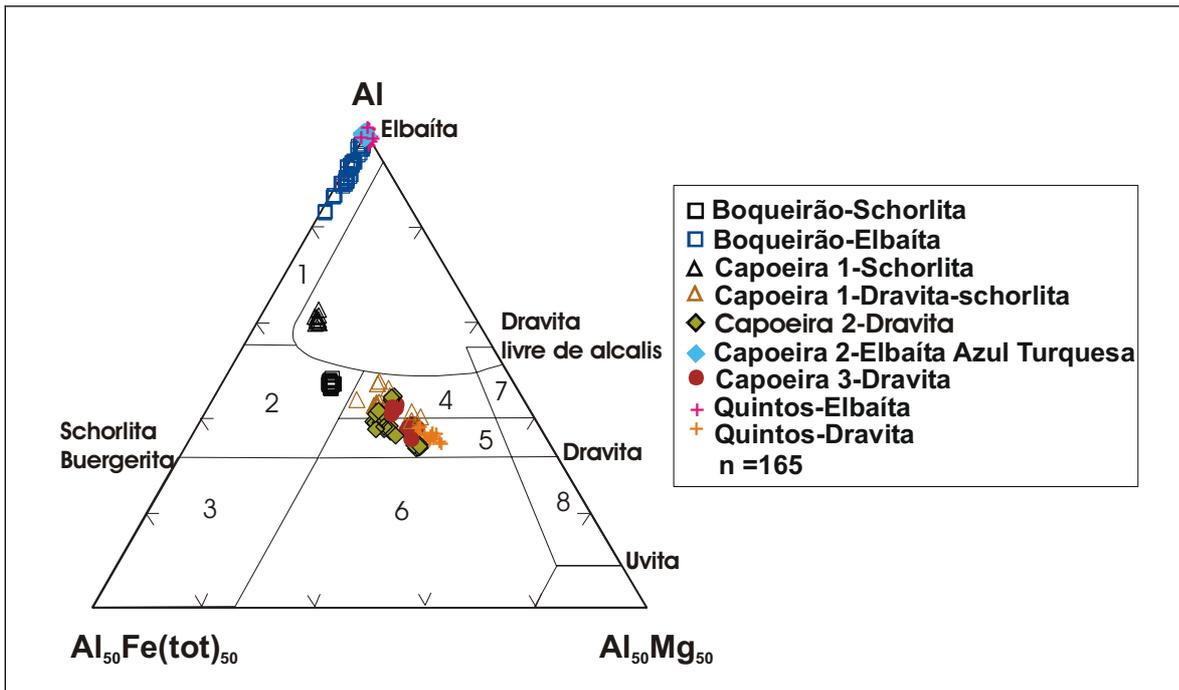


Figura 8.19 – Diagrama ternário Al–Fe–Mg (Henry & Guidotti, 1985), em proporções moleculares, para turmalinas estudadas. Os campos numerados se referem a: (1) Aplitos e pegmatitos graníticos ricos em Li, (2) Granitóides pobres em Li e pegmatitos a eles associados, (3) Rochas quartzo-turmaliníferas ricas em Fe^{3+} , (4) Metapelitos e metapsamitos associados com fases saturadas em Al, (5) Metapelitos e metapsamitos não saturados em Al, (6) Rochas metapelíticas calciossilicáticas e quartzo-turmaliníferas ricas em Fe^{3+} , (7) Rochas metaultramáficas pobres em Ca e metassedimentares ricas em Cr e V, (8) Metapiroxenitos e metacarbonatos. n = número de análises.

As turmalinas da série dravita-schorlita inserem-se nos campos 2, 4 e 5, do diagrama ternário de Henry & Guidotti (1985), ou mesmo fora deles (pequeno grupo de schorlitas do pegmatito Capoeira 1, com considerável conteúdo do componente elbaíta), enquanto que as elbaítas localizam-se no campo 1 (aplitos e pegmatitos ricos em Li), como esperado, colocando-se próximo ao vértice do Al, indicando que elas são enriquecidas neste elemento, sendo as dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos, elbaítas quase puras. Os campos 2, 4 e 5, onde estão inseridas as turmalinas estudadas da série dravita-schorlita, não são coerentes com a sua origem pegmatítica. Isso ocorre, segundo Henry & Guidotti (1985), pois:

- O diagrama Al-Fe-Mg não leva em consideração cátions como V, Cr e Mn que, por vezes, podem ocorrer em quantidades apreciáveis nas turmalinas;
- Algumas turmalinas desenvolvidas devido à alteração hidrotermal de rochas pré-existentes ou à injeção de veios pegmatíticos podem ser de difícil sistematização, pois podem adquirir características da rocha encaixante, às vezes mostrando composição anômala;
- Em turmalinas zonadas, com história de cristalização complexa, cuja composição varia de acordo com o equilíbrio com minerais coexistentes, uma análise pode representar apenas uma pequena fração do grão.

Atualmente dois diagramas discriminantes são bastante utilizados para caracterizar turmalinas ricas em Fe e Mg: são os diagramas $Ca/(Ca+Na)$ versus $Fe/(Fe+Mg)$, proposto por Selway *et al.* (1999) e $\square/(\square+Na)$ versus $Fe/(Fe+Mg)$, de Williamsom *et al.* (2000), conforme Figuras 8.20a e 8.20b

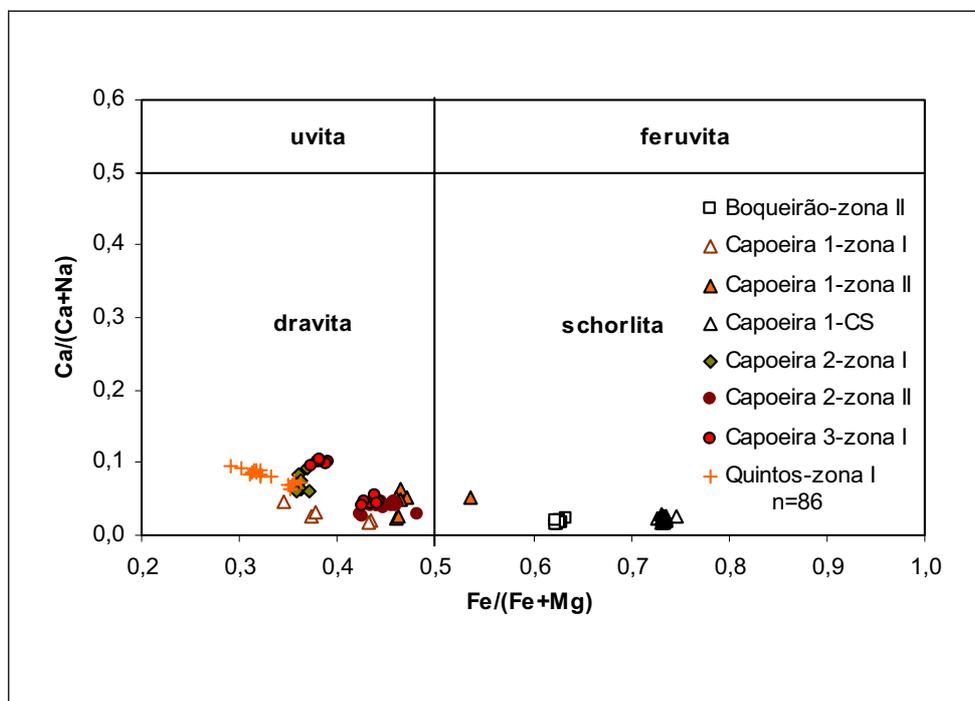


Figura 8.20a - Diagrama $Ca/(Ca+Na)$ versus $Fe/(Fe+Mg)$, em apfu, para turmalinas estudadas, da série dravita-schorlita, segundo Selway *et al.* (1998); n = número de análises

O diagrama discriminante $Ca/(Ca+Na)$ versus $Fe/(Fe+Mg)$, conforme Figura 8.20a, mostra uma suave correlação negativa, com o aumento no conteúdo de Ca correspondendo a uma diminuição de Fe ou aumento de Mg. De um modo geral as dravitas-schorlitas estudadas são pobres em Ca (0,01 a 0,08apfu), posicionando-se na parte inferior do gráfico. As dravitas do pegmatito Quintos (zona I) mostram uma relação $Fe/(Fe+Mg)$ muito baixa ($\pm 0,3$), indicando pouco conteúdo do componente schorlita.

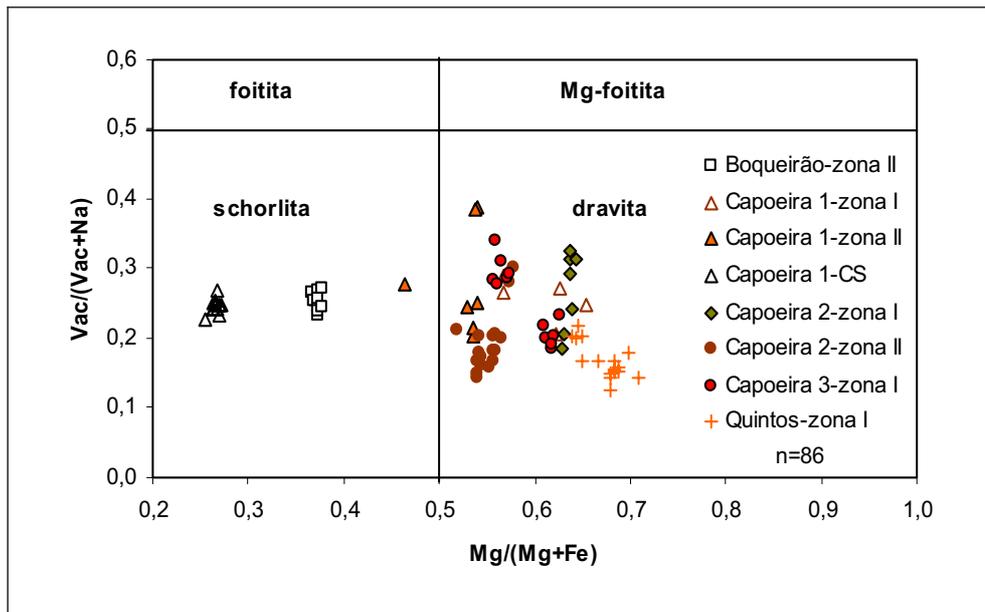


Figura 8.20b - Diagrama $Vac/(Vac+Na)$ versus $Mg/(Mg+Fe)$, em apfu, das turmalinas da série dravita-schorlita estudadas, segundo Williamsom *et al.* (2000). Vac = vacância (□) na posição estrutural X; n = número de análises.

O diagrama discriminante $Vac/(Vac+Na)$ versus $Fe/(Fe+Mg)$, conforme Figura 8.20b, não mostra uma boa correlação. Estas turmalinas (dravitas-schorlitas) normalmente apresentam vacância (□) variando entre baixa a média (0,11 a 0,38), com as schorlitas mostrando maiores variações. Dravitas do pegmatito Quintos (zona I) mostram vacâncias muito baixas, com relações $Mg/(Mg+Fe)$ muito alta (em torno de 0,7), comprovando que o seu conteúdo do componente schorlita é normalmente mais baixo que das demais dravitas estudadas.

A variação química na série dravita-schorlita, segundo Linnen & Williams-Jones (1994), ocorre principalmente devido ao excesso de Al no sítio Y e a deficiência no conteúdo total de álcalis. Para Rosenberg & Foit (1979) esta variação ocorre provavelmente como resultado de substituições do tipo perda de prótons ou deficiência de álcalis. Conforme Henry & Dutrow (1990), a substituição $Fe^{2+}_Y \leftrightarrow Mg^{2+}_Y$, representado pelo vetor de troca $FeMg_{-1}$ é o principal mecanismo de troca responsável pela formação de dravita ou schorlita.

A quase totalidade das turmalinas da série dravita-schorlita analisadas mostram um déficit muito pequeno em Si ($Si < 6,00$ apfu), enquanto as elbaítas têm conteúdo variando entre 5,90 e 6,00apfu de Si, com a maioria entre 5,95 e 6,00apfu, próximo do erro analítico. Algumas mostram excesso de Si, que corresponde à presença deste elemento nos sítios estruturais T e Y, conforme Gallagher (1988).

O conteúdo de F é muito variável nas turmalinas estudadas. De um modo geral ocorre um aumento no conteúdo de F das turmalinas das bordas do pegmatito (dravitas ou schorlitas) para as porções centrais (elbaítas), ou seja, seguem a mesma tendência do Al no sítio estrutural Y.

Algumas elbaítas, com conteúdos de F maior que 0,5apfu podem ser classificadas como F-elbaítas de acordo com Hawthorne & Henry (1999).

Na PPB existem poucos dados sobre F em turmalinas, alguns dos quais apresentados neste trabalho. Barreto (1999), estudando elbaítas de alguns pegmatitos da PPB (Capoeira, Quintos, Bulandeira e São José da Batalha, encontrou conteúdos médios de F de 0,82apfu em elbaítas púrpura, 0,71apfu em elbaítas azul-esverdeado, 0,24apfu em elbaítas verdes, 0,66apfu em elbaítas vermelhas e 0,24apfu em elbaítas incolores. MacDonald & Hawthorne (1995) estudando elbaítas de São José da Batalha encontraram conteúdos de F de 0,30apfu e 0,44apfu em duas amostras estudadas. Na Figura 8.21 mostra-se um diagrama F *versus* Li para as elbaítas estudadas, observando-se que algumas delas podem ser classificadas como F-elbaíta.

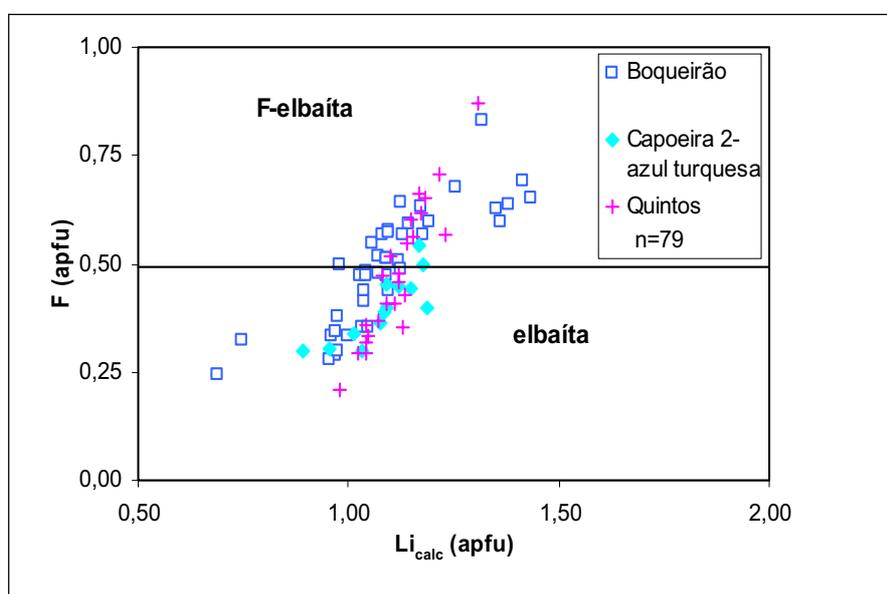


Figura 8.21 – Diagrama F *versus* Li para elbaítas estudadas, modificado de Tindle *et al.* (2002); n = número de análises

As elbaítas estudadas têm conteúdo de F variando entre 0,18 e 0,83 apfu. Nas elbaítas de cor azul turquesa (tipo “turmalina Paraíba”) do pegmatito Capoeira 2, o conteúdo de F varia entre 0,30 e 0,54 apfu, com a grande maioria dos valores abaixo de 0,50 apfu de F. O diagrama F *versus* Li, mostra uma boa correlação positiva indicando que o aumento de Li corresponde a um aumento de F, comportamento similar ao observado por Novák & Taylor (2000) e Tindle *et al* (2002) em elbaítas. As elbaítas estudadas exibem *trends* diferentes, indicando evoluções diferentes ao longo da cristalização dos pegmatitos. Observa-se que as elbaítas azul turquesa do pegmatito Capoeira 2 normalmente não têm conteúdo de F maior que 0,5apfu. Considerando as variações de cores de todas as turmalinas analisadas, parece não haver relação de F com elas.

8.3.5 – Interpretação da Química Mineral e Discussão

As elbaítas, com exceção daquelas do pegmatito Boqueirão, caracterizam-se quimicamente por apresentar grande vacância no sítio estrutural X, com altos conteúdos de Al e consideráveis teores de CuO no sítio estrutural Y. Os valores de Al, principalmente em elbaítas azul turquesa, correspondem geralmente a mais de 50% ($> 1,5\text{apfu}$) do valor teórico da posição estrutural Y e ocorrem em turmalinas com maior vacância no sítio X. Esse enriquecimento em Al, comum em ambientes pegmatíticos, reflete, segundo Frederico *et al.* (1998), a abundância deste elemento na fusão pegmatítica.

A vacância(\square), que ocorre devido a ocupação parcial de cátions em uma posição estrutural (sítio estrutural), pode estar presente em vários minerais, sendo comum em micas, anfibólios e alguns nióbio-tantalatos. A vacância no sítio estrutural X de turmalinas se reveste de grande importância devido às implicações genéticas que sua variação pode indicar.

Gorskaya *et al.* (1982) entendem que o aumento da vacância no sítio estrutural X implica em um acréscimo de Al no sítio estrutural Y, causando excesso de Al no mesmo. Jolliff *et al.* (1986) mostram que o excesso de Al é uma feição comum em turmalinas de pegmatitos, podendo estar relacionado com a evolução magmática, indicando uma diminuição de temperatura de cristalização. Na Figura 8.22, baseado em Gorskaya *et al.* (1982) mostra-se em diagrama vacância *versus* Al (Y) para as turmalinas estudadas.

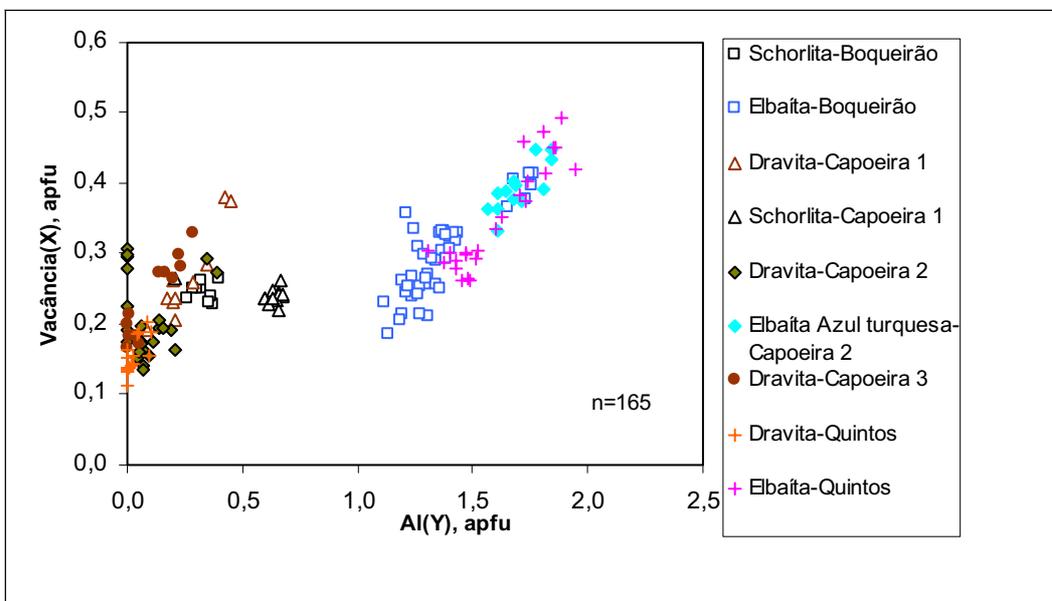


Figura 8.22 – Diagrama vacância (\square) em X *versus* Al (Y) para todas turmalinas estudadas; n = número de análises

Para Manning (1982) o crescimento da vacância no sítio X de turmalinas corresponde a uma diminuição na temperatura de formação das mesmas. Segundo Gallagher (1988) a formação de vacâncias na posição X (déficit em álcalis) das turmalinas é

favorecida por uma maior disponibilidade de água durante a sua cristalização. Keller *et al* (1999) entende que altas vacâncias X indicam uma partição da Na coexistindo com albita, ou que a turmalina deficiente em álcalis cristalizou a partir de fluidos deficientes em álcalis, consequência da precipitação de albita.

O diagrama vacância (X) *versus* Al (Y) da Figura 8.22 mostra que, no caso das elbaítas, o aumento no conteúdo de Al no sítio estrutural Y corresponde, pelo menos em parte, a um aumento na vacância no sítio X. A reação $Al(Y) \leftrightarrow \square(X)$, representada pelo vetor $Al(Y) - \square(X)_{-1}$, que corresponde à entrada de 1 Al(Y) apfu para cada 1 $\square(X)$ apfu, não se verifica: o diagrama mostra que para cada 0,3 \square entram 0,8Al(Y), indicando que a entrada do restante do Al (0,5) deve ser explicada de outra forma, com outro mecanismo acoplado. Para as schorlitas-dravitas são observados vários *trends*, significando que a vacância se comporta de modo diverso, talvez influenciado por outros fatores como influência da encaixante e/ou maior diversidade de associações minerais. O grupo das elbaítas mostra um maior conteúdo de Al, e na maioria dos casos, uma maior vacância no sítio X, chegando a atingir 0,49apfu, ou seja quase 50% do total do sítio X, embora as elbaítas do pegmatito Boqueirão tenham normalmente vacância menor. As elbaítas azul turquesa, conhecidas por “turmalina Paraíba” têm vacância variando entre 0,33 a 0,45apfu, consideradas altas. De um modo geral, não se observou turmalinas com baixa vacância ($\leq 0,1$).

Alguns autores como Rosenberg & Foit (1979) e Manning (1982) identificaram que um das causas principais de substituições em turmalinas é a diminuição da temperatura de cristalização. Relações gráficas tipo $(R^+ + R^{2+})$ *versus* R^{3+} , de Gallagher (1988), baseado em Foit & Rosenberg (1977) é mostrado na Figura 8.23.

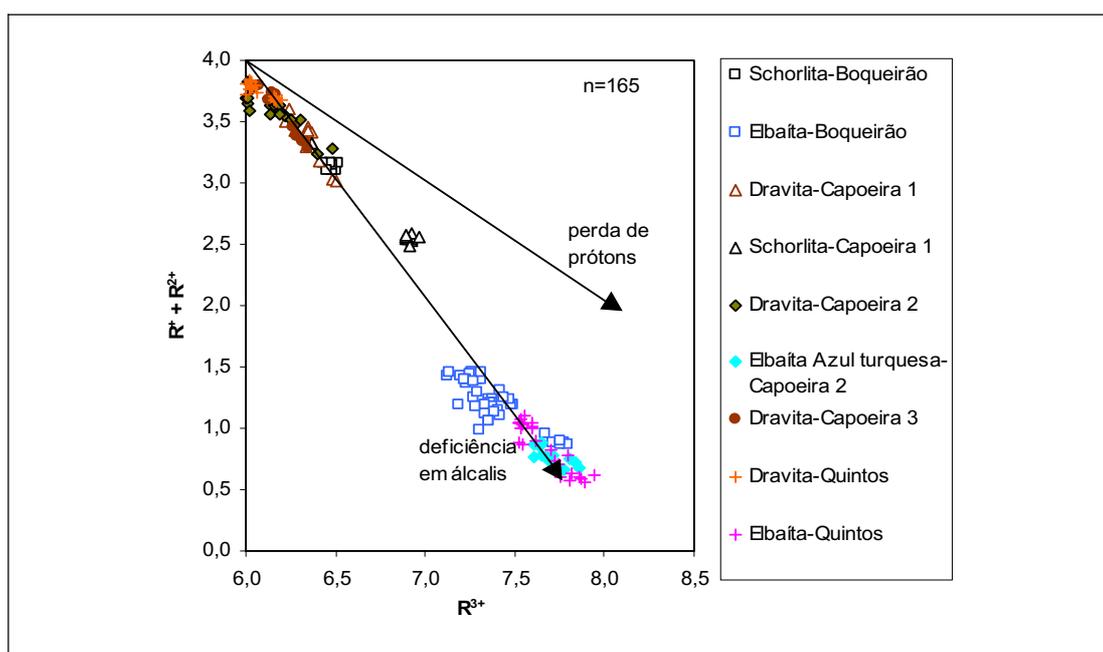


Figura 8.23 – Diagrama $(R^+ + R^{2+})$ *versus* R^{3+} (Gallagher, 1988) com $(R^+ + R^{2+}) = Na + 2Ca + K + Fe + Mg + Mn$ e $R^{3+} = Al + 4/3Ti$, aplicado às turmalinas aqui estudadas; n = número de análises

No diagrama $(R^+ + R^{2+})$ versus R^{3+} (Figura 8.23) são inseridos dois vetores de substituição que indicam substituições do tipo deficiência em álcalis (alkali deficiency) e perda de prótons (próton loss), definidos respectivamente por $R^+_X + R^{2+}_Y \leftrightarrow R^{3+}_Y + \square_X$ e $R^{2+}_Y + OH \leftrightarrow R^{3+}_Y + O^{2-}$. A maior proximidade dos pontos de um ou outro destes vetores define o tipo de substituição dominante, com intensidade avaliada pela maior ou menor proximidade com a extremidade da seta.

O diagrama $(R^+ + R^{2+})$ versus R^{3+} mostra uma boa correlação negativa, explicável em parte pelo aumento de Al acoplado ao aumento da vacância em X, com a substituição “deficiência em álcalis” dominante sobre a substituição “perda de prótons” nas turmalinas estudadas, contribuindo para a formação de vacâncias no sítio estrutural X, também já observado no diagrama vacância (X) versus Al (Y). Segundo Gallagher (1988) substituições envolvendo “deficiência em álcalis” são mais comuns que as substituições do tipo “perda de prótons”, e ambas são controladas parcialmente pelo ambiente químico: sistemas ricos em H_2O favorecem a substituições do tipo “deficiência em álcalis”. Conforme Keller *et al.* (1999) a combinação das substituições “deficiência em álcalis” e “perda de prótons” provocam um aumento do conteúdo de Al no sítio Y e diminuição da ocupação do sítio estrutural X, ou seja, um aumento da vacância na posição X. Isto poderá explicar o excesso de incremento de R^{3+} em relação ao incremento de $(R^+ + R^{2+})$ observado nas elbaítas do diagrama da Figura 8.23. Nas schorlitas-dravitas observa-se uma reduzida deficiência em álcalis, exceto para o grupo constituído por schorlitas provenientes de corpo de substituição do pegmatito Capoeira 1 que se situa numa posição intermediária entre as schorlitas-dravitas dos outros pegmatitos e as elbaítas. Essas schorlitas têm um conteúdo de Al no sítio Y maior que as demais schorlitas-dravitas, conforme atestado pelo diagrama vacância (X) versus Al (Y), sugerindo que elas são mais evoluídas, já que normalmente há um incremento de Al na posição Y ao longo do processo de fracionamento.

As elbaítas, apesar de estarem plotadas praticamente sobre o vetor deficiência em álcalis, formam um *trend* aproximadamente paralelo ao vetor perda de prótons, sugerindo que além da deficiência em álcalis possa existir também a influência do componente perda de prótons. As elbaítas do pegmatito Boqueirão têm menor deficiência em álcalis que as demais, refletindo um nível de evolução menor que as outras elbaítas.

De um modo geral tem-se um *trend* evolutivo das turmalinas, seguindo a evolução normal deste mineral em ambientes pegmatíticos, dado pela sequência: dravita, schorlita, schorlita-elbaíta e elbaíta. Alguns dados são plotados à esquerda do vetor “deficiência em álcalis”. Segundo Gallagher (1988) isto pode ser explicado pela ocupação parcial do sítio Y por Si, e/ou presença adicional de cátions como Li. Nestas turmalinas estudadas parece que a presença de cátions como Li, Cu e Zn podem ser a causa deste comportamento anômalo. Na Figura 8.24 mostra-se o diagrama relacionando $(Fe + Mg + Mn)$ versus $(Al_{total} + Li)$ nas

elbaítas, segundo Keller *et al.* (1999). Este mecanismo pode explicar melhor o incremento maior de R^{3+} do que o ditado pelo vetor “deficiência em álcalis”.

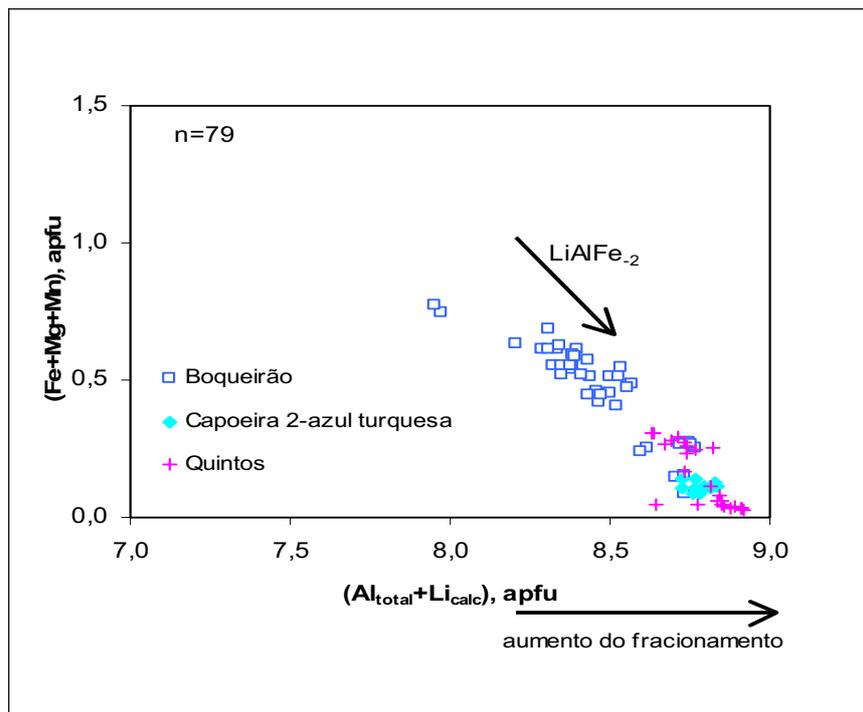


Figura 8.24 – Diagrama (Fe+Mg+Mn) versus (Al_{total} + Li_{calc.}) (Keller *et al.*, 1999) para as elbaítas estudadas. O vetor LiAlFe₂, correspondente à reação de substituição $Li+Al \leftrightarrow 2Fe$ e representa um possível operador de substituição para estas turmalinas. Fe e Al representam Fe e Al totais. n= número de análises. Li_{calc.} = Li calculado; n = número de análises

A incorporação de Li em turmalinas é controlada principalmente pela substituição do tipo elbaíta, LiAlFe₂. Segundo Rosenberg & Foit (1979) a incorporação de Al+Li no sítio Y das turmalinas é estruturalmente e energeticamente menos estável que a incorporação de Fe²⁺.

As elbaítas do pegmatito Boqueirão no diagrama (Fe+Mg+Mn) versus (Al_{total}+Li_{calc.}), conforme Figura 8.24, apresentam uma boa correlação negativa, com *trend* paralelo ao vetor de substituição (LiAlFe₂), indicando que esta substituição ($Li+Al \leftrightarrow 2Fe^{2+}$) é o principal mecanismo de incorporação de Li e Al no sítio Y, embora possam existir outros, que somente poderiam ser explicadas por uma conjugação de vetores. Já nas elbaítas do pegmatito Quintos e nas elbaítas azul turquesa do pegmatito Capoeira 2 esta correlação é menos clara, embora o diagrama mostre que elas são mais evoluídas que as elbaítas do pegmatito Boqueirão, fato também observado nos diagramas ($R^+ + R^{2+}$) versus R^{3+} e vacância (X) versus Al(Y) mostrados antes.

As relações Fe versus Mg são muito importantes em turmalinas, notadamente em schorlitas, dravitas e foititas, pois estas turmalinas são enriquecidas em Fe e Mg, proporcionando muitas substituições, envolvendo ainda outros elementos como Al, Li, Ti,

entre outros. Os diagramas $Fe/(Fe+Mg)$ versus Mg e Fe versus Mg são muito utilizados e importantes no estudo destas turmalinas. Na Figura 8.25 mostra-se um diagrama Fe versus Mg , inserindo-se nele vetores de substituição propostos por Medaris Jr. *et al.* (2003) para servir como parâmetro de comparação e interpretação dos processos de substituição.

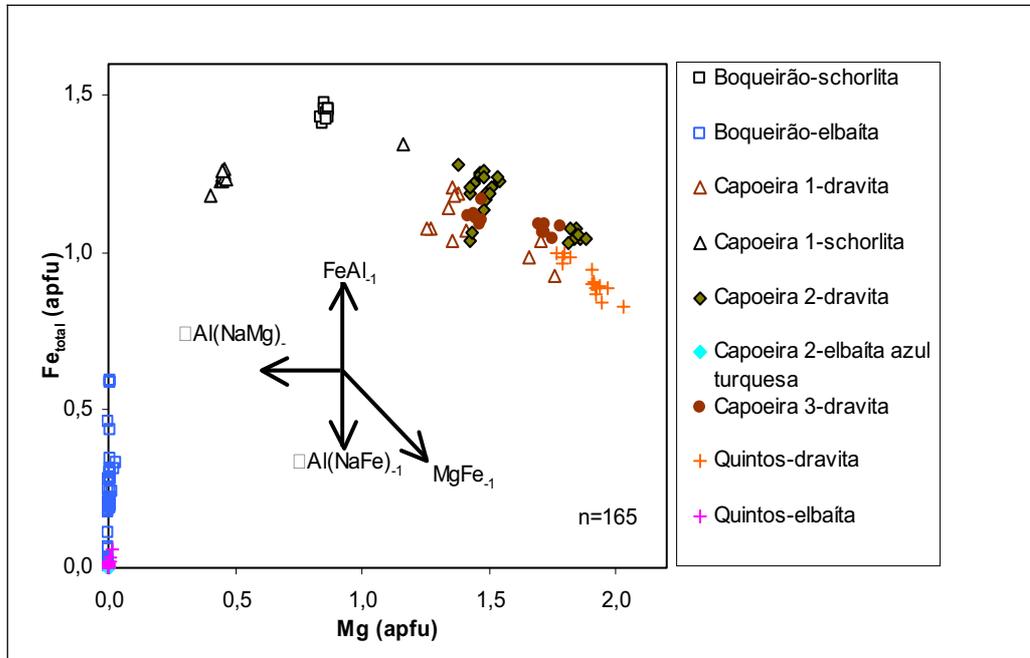


Figura 8.25 – Diagrama Fe_{total} versus Mg para todas turmalinas estudadas. Representação vetorial de acordo com Medaris Jr. *et al.* (2003). n = número de análises.

No diagrama Fe_{total} versus Mg observa-se, ao longo da evolução das turmalinas, três *trends* distintos: um segmento com vetor inclinado, de correlação negativa (não paralelo ao vetor $MgFe_{-1}$, portanto com relação $Fe:Mg$ diferente de 1:1), representando turmalinas da série schorlita-dravita, indicando haver um outro mecanismo acoplado à substituição de Fe por Mg ; um segmento inclinado, de correlação positiva representando schorlitas; um segmento vertical, representando elbaítas, paralelo ao vetor $Al(NaFe)_{-1}$, onde não se verifica variação do Mg em relação ao Fe .

Jolliff *et al.* (1986) entendendo que o decréscimo de $Fe+Mg$ é um bom índice de cristalização progressiva, propuseram relações gráficas $Fe+Mg$ versus elementos como Fe , Mg , Ti , Zn , Ca , Sn , visando entender o comportamento destes elementos, considerados importantes no processo de cristalização de pegmatitos, e obtiveram *trends* gerais para cada elemento analisado.

Nos diagramas $(Fe+Mg)$ versus Fe , Mg , Li , Mn , F , vacância (X) e $Al(Y)$, que corresponde à Figura 8.26, é possível visualizar a evolução química de vários elementos ao longo da cristalização dos pegmatitos estudados, conforme propostos por Jolliff *et al.* (1986).

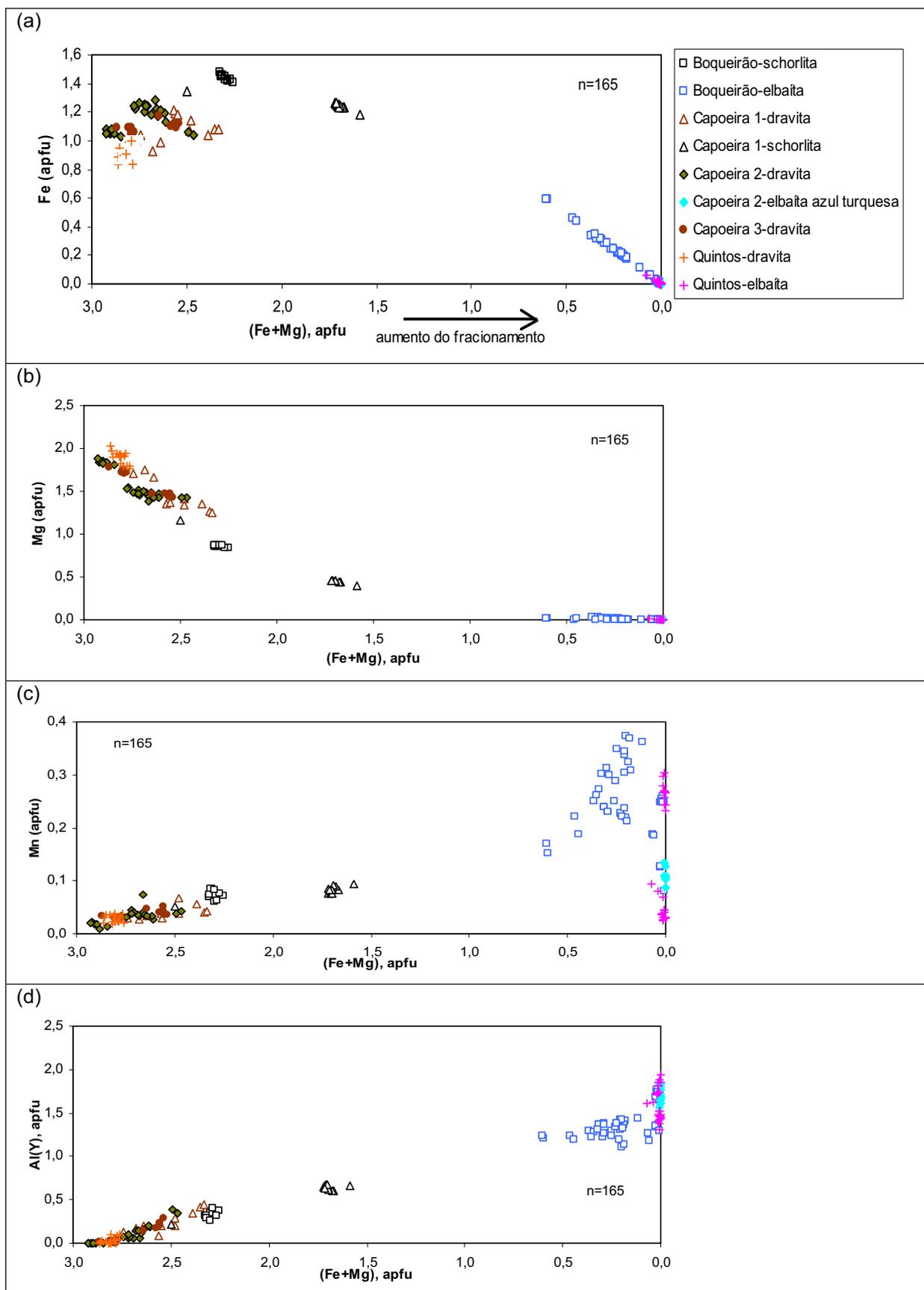


Figura 8.26 – Diagramas (Fe+Mg) versus Fe(total), Mg e Mn e Al(Y) para todas turmalinas estudadas. Os símbolos utilizados valem para todos os diagramas; n = número de amostras

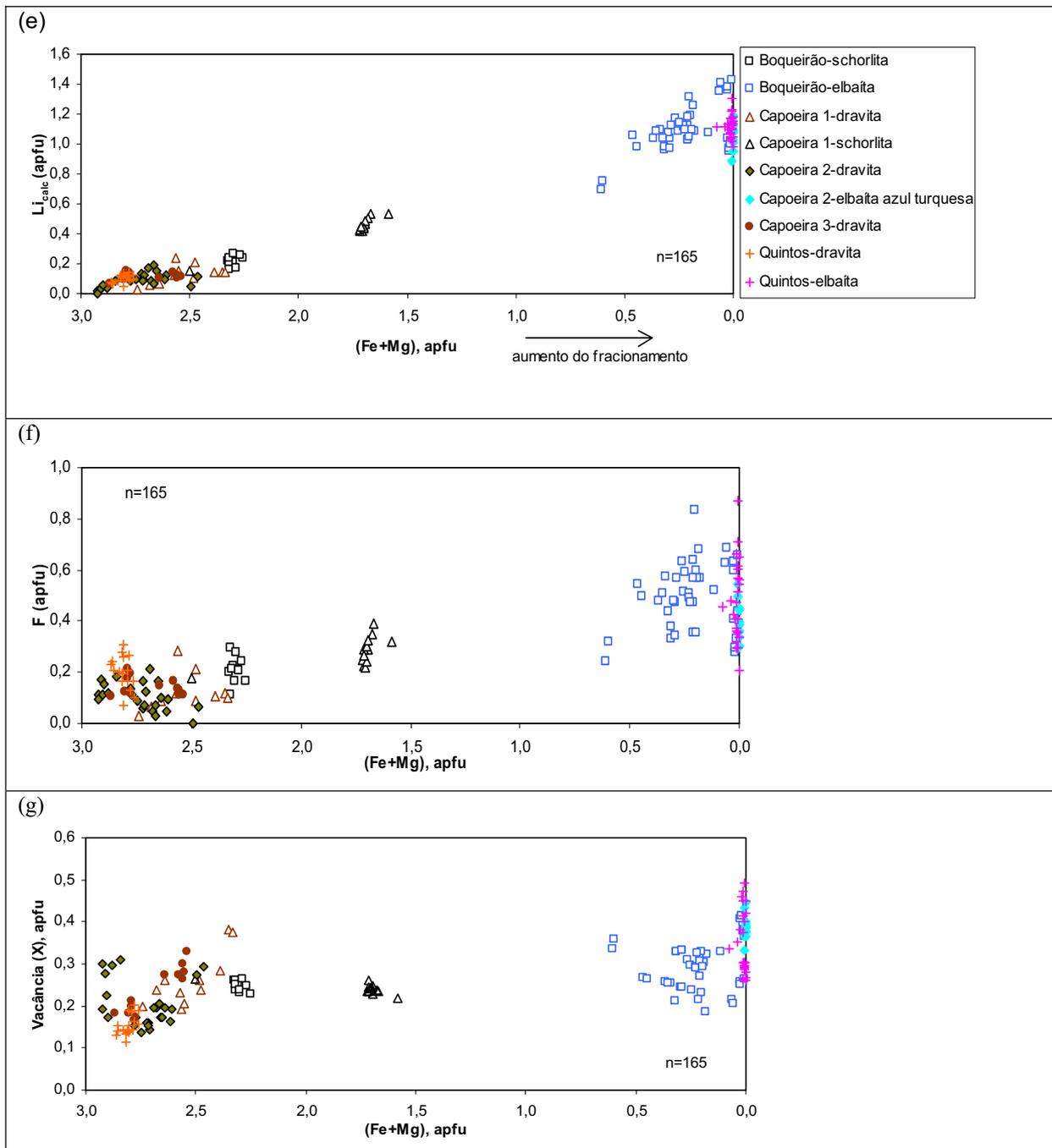


Figura 8.26 (continuação) - Diagramas (Fe+Mg) versus Li, F e vacância (X), para todas turmalinas estudadas. Os símbolos utilizados valem para todos os diagramas; n = número de amostras

Os elementos Li, Al(Y) e F exibem *trends* gerais bem definidos com uma tendência de aumento ao longo da cristalização. O Mn e Fe mostram um crescimento inicial, sofrendo uma diminuição ao final da cristalização, com muitas variações nas elbaitas. A vacância no sítio estrutural X mostra uma leve tendência de aumento ao longo da cristalização. O Mg mostra uma tendência de diminuição ao longo da cristalização. O comportamento dos

elementos Fe, Mg e Mn são similares aos encontrados por Jolliff *et al.* (1986) para turmalinas do pegmatito Bob Ingersoll, Dakota do Sul, EUA.

Resumindo-se, observa-se que as turmalinas estudadas, classificadas segundo o sítio X (Hawthorne & Henry, 1999), se inserem todas no grupo alcalino, com predominância de Na, tendo a vacância neste sítio variação entre 0,11 e 0,49apfu, com valores maiores para as elbaítas e quase sempre baixo conteúdo de Ca (0,0 a 0,17apfu). Valores de Ca maiores que 0,10apfu só são observados em elbaíta rósea do pegmatito Boqueirão (BO-008c) e elbaíta azul claro do pegmatito Quintos (QB-007).

No pegmatito Boqueirão ocorrem schorlitas na zona II, passando posteriormente a elbaíta, em corpos de substituição e em pockets. As dravitas que ocorrem nas zonas de borda dos pegmatitos Capoeira 1 passam gradativamente a schorlitas e chegam a schorlita-elbaíta nos corpos de substituição. Nos pegmatito Capoeira 2 e 3 as dravitas passam para elbaítas, sem a formação de schorlitas. No pegmatito Quintos as turmalinas mais primitivas são dravitas que ocorrem na zona I e passam para elbaítas nas porções mais interiores dos corpos. Isto mostra que a evolução das turmalinas ocorreu de modo diferente nos pegmatitos estudados. A substituição deficiência em álcalis é dominante sobre a substituição perda de prótons, conforme o diagrama ($R^+ + R^{2+}$) *versus* R^{3+} , provocando a geração de vacâncias na posição X e sendo mais intensa nas elbaítas que nas dravitas-schorlitas.

Observando-se o diagrama F *versus* Li (Figura 8.21) e comparando-se os diagramas (Fe+Mg) *versus* Al(Y) (Figura 8.26d) e (Fe+Mg) *versus* F (Figura 8.26f) observa-se que crescimento de Al(Y) é acompanhado pelo crescimento de F ao longo da cristalização, também registrado por Keller *et al.* (1999). Algumas elbaítas têm conteúdo de F maior que 0,50apfu, podendo ser classificadas como F-elbaítas, segundo Hawthorne & Henry (1999). As elbaítas azuis turquesa do pegmatito Capoeira 2 são caracterizadas por altas vacâncias no sítio estrutural X, alto conteúdo de Al no sítio estrutural Y, indicando alto nível de fracionamento do pegmatito hospedeiro e baixo conteúdo de Fe e Mg, ou seja, pouca ou nenhuma influência dos componentes schorlita e dravita. Estas elbaítas, exceto uma análise, têm conteúdo de F menor que 0,5apfu, não podendo ser classificadas como F-elbaítas.

A seguir, a título de ilustração (Figura 8.27a) mostra-se um perfil borda-núcleo da seção basal de uma elbaíta multicolorida (azul escuro, azul claro, rósea, verde) do pegmatito Boqueirão (amostra BO-007b), onde se observa alto conteúdo de Zn na faixa azul escuro e substituições Fe-Mn e Zn-Mn. Mostra-se também um perfil-borda-núcleo-borda da seção basal de uma turmalina da série dravita-schorlita (amostra CA1-020) do pegmatito Capoeira 1 (Figura 8.27b) com substituição Fe-Mg.

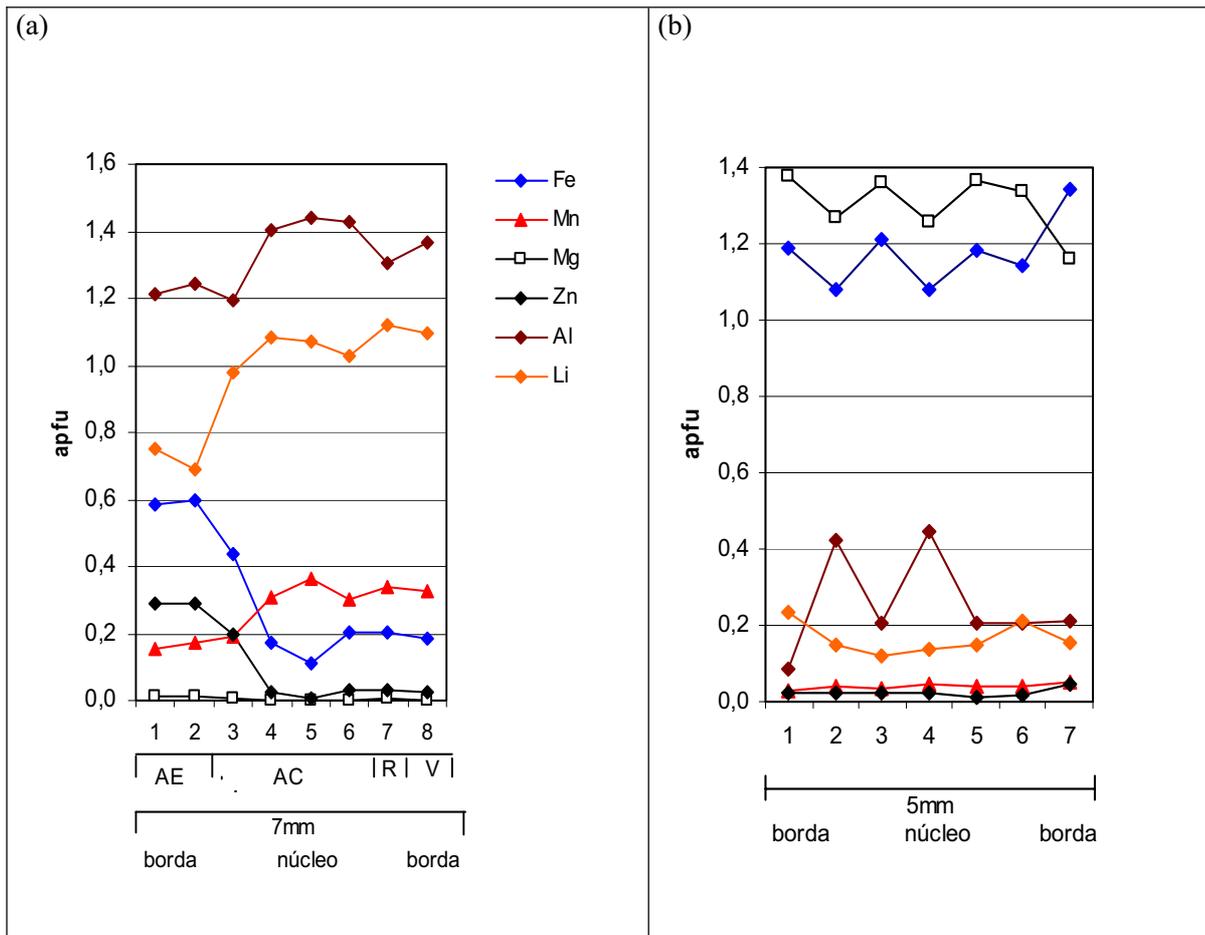


Figura 8.27 – Perfis borda-núcleo-borda em cristais de: (a) elbaíta multicolorida (amostra BO-007b); (b) dravita-schorlita, (amostra CA1-020). Os símbolos valem para as duas figuras; AE = azul escuro; AC = azul claro; R = rósea; V = verde

8.4 – Nióbio-Tantalatos

A afinidade geoquímica entre nióbio e tântalo faz com que esses dois elementos ocorram quase sempre juntos na natureza. O nióbio e o tântalo ocorrem em diversas classes de minerais: óxidos (grande maioria), elementos nativos e silicatos (Vlasov, 1964), boratos, fosfatos (Černý & Ercit, 1989). Os óxidos geralmente têm uma composição química complexa. Eles podem conter, além de Nb e Ta, elementos como Ti, Fe²⁺, Fe³⁺, Zr, Sn, Sb, Bi, Al, Mn, Mg, Ca, Na, Li, U, ETR, Pb, Si, F, P, entre outros. Ocorrem normalmente em granitos, pegmatitos, greisens, carbonatitos, sienitos, etc. Embora sejam conhecidos em torno de 100 espécies destacam-se como mais comuns as séries isomórficas (ou grupos) tantalita/columbita, pirocloro/microlita, wodginita, ixiolita, nióbio rutilo, onde se encontra amplas substituições entre Fe/Mn, Nb/Ta/Ti/Sn/W, etc.

A mineralogia de Ta e Nb em pegmatitos de elementos raros é complexa e a distribuição das fases minerais nos diferentes tipos de pegmatitos são dominadas pelas relações Ta/Nb e Mn/Fe (Černý & Ercit, 1985). Geralmente observa-se o crescimento na

relação Ta/Nb e um decrescimento na relação Mn/Fe nos minerais (óxidos) de Ta-Nb no decorrer da cristalização de pegmatitos (Grice *et al.* 1972).

O estudo da química dos nióbio-tantalatos desta forma, do mesmo modo que micas, feldspato, granada, turmalinas e gahnita, foram utilizados visando avaliar o nível de fracionamento dos pegmatitos.

De um modo geral os minerais da série columbita-tantalita são dominantes em pegmatitos moderadamente fracionados, enquanto que paragênese dominadas por wodginita, microlita, stibiotantalita, bismutotantalita, simpsonita e cestibtantita e seus produtos de alteração são típicos de pegmatitos bastante diferenciados (Černý, 1989a).

O nível de fracionamento de um magma que pode gerar um pegmatito se reflete não apenas na assembléia mineral formada, mas também na composição química de algumas fases minerais (Černý & Ercit, 1985). Columbita-tantalita formam o grupo de óxidos de Ta-Nb mais comum, ocorrendo principalmente em pegmatitos de elementos raros, particularmente nos subtipos berilo-columbita, espodumênio e lepidolita (Černý, 1989a). Esta seqüência de subtipos de pegmatitos mostram incremento do fracionamento com o aumento dos conteúdos de Li, Rb, Cs, Hf, Ta, F e B nos óxidos de Ta-Nb. Em geral esses óxidos evoluem de columbita-tantalita + ixiolita para columbita-tantalita + microlita + ixiolita + cassiterita + wodginita para microlita + manganocolumbita, com o incremento do fracionamento (Lumpkin, 1998). Minerais do grupo da columbita-tantalita, ricos em Mn (Mn-columbita e Mn-tantalita) são típicos de pegmatitos ricos em Li (Černý & Ercit, 1985), portanto bastante fracionados. A cestibtantita é um mineral típico de pegmatitos altamente diferenciados (Černý & Ercit, 1989).

De acordo com Beurlen *et al.* (2002), a freqüência de ocorrência de tantalatos exóticos, tais como bismutotantalita, manganotantalita, simpsonita, stibiotantalita e wodginita em pegmatitos da região indicam uma quantidade maior de pegmatitos mais diferenciados e com maior potencial metalogenético em Ta-Sn e Cs, do que anteriormente se supunha.

Neste trabalho foram estudados alguns nióbio-tantalatos no pegmatitos Boqueirão, Capoeira 1 e Quintos, procurando verificar os possíveis *trends* de fracionamento. A maior dificuldade no estabelecimento dos *trends* de fracionamento reside na impossibilidade da coleta sistemática destas amostras em seções dos pegmatitos.

8.4.1 - Nióbio-tantalatos do Pegmatito Boqueirão

No pegmatito Boqueirão foram estudados Mn-columbita, mineral comum em muitos pegmatitos da PPB. Também ocorrem neste pegmatito Fe-tantalita (Adusumilli, 1976) e stibiotantalita (Farias, 1976).

A série da columbita-tantalita é constituída de minerais ortorrômbicos de fórmula geral AM_2O_6 , onde A = Fe, Mn, Mg e M = Nb, Ta. Menores quantidades de Fe^{3+} , Sc, Ti, Sn e W constantemente estão presentes. Os membros finais desta série são ferrocolumbita,

FeNb_2O_6 , manganocolumbita, MnNb_2O_6 , manganotantalita, MnTa_2O_6 e magnocolumbita, MgNb_2O_6 (Černý & Ercit, 1989). A substituição de columbita-tantalita por microlita ou outras fases minerais de Ta-Nb é uma característica comum a esses minerais (Černý & Ercit, 1985).

No pegmatito Boqueirão foram coletados cristais placosos de columbita na transição da zona II com a zona III em uma provável apófise do corpo principal, aqui denominada de Boqueirão I. Ao microscópio observou-se inclusões com refletividade um pouco maior que a columbita e ricas em reflexos internos, que a exemplo de inclusões similares determinadas por microsonda eletrônica (MSE) em Mn-columbita em outro pegmatito (Serraria), devem tratar-se de nióbio-rutilo. Em fraturas e nas bordas observa-se alteração (provavelmente hidrotermal) para microlita e pirocloro.

8.4.2 - Nióbio-tantalato do Pegmatito Capoeira 2

Ocorrem neste pegmatito cristais idiomórficos tabulares de Mn-columbita na zona II, dispersos sob a forma de inclusões em gahnita (Figura 8.28), associada também a K-feldspato (Figura 8.29). Foram realizadas análises de microscópio eletrônico de varredura (MEV), que indicam relações $\text{Ta/Nb} = 1/6$ e $\text{Mn/Fe} = 1/6$. Em superfície foram encontrados cristais centimétricos de columbita-tantalita rolados.

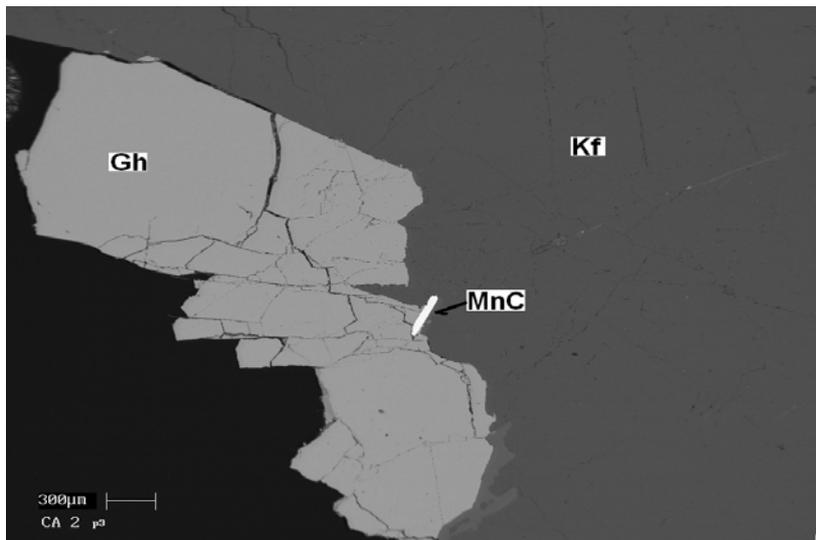


Figura 8.28 – Imagem BSE obtida por MEV de manganocolumbita do pegmatito Capoeira 2. Gh = gahnita; MnC = Mn-columbita; Kf = K-feldspato

8.4.3 – Nióbio-tantalatos do Pegmatito Quintos

O pegmatito Quintos é portador de uma grande variedade de nióbio-tantalatos, alguns deles estudados pela primeira vez na PPB: fersmita, Ti-ixiolita, natrobistantita, Nb-rutilo.

Ti-ixiolita – Ixiolita forma um grupo de nióbio-tantalatos complexos de fórmula geral $(\text{Ta,Nb,Sn,Fe,Mn,Ti,Sc,W})_4\text{O}_8$, ortorrômbico, com estrutura correspondente a uma

columbita-tantalita desordenada (Černý & Ercit, 1985). De acordo com esses autores este grupo de minerais inclui variedades denominadas de Sc-ixiolita, W-ixiolita e Ti-ixiolita, de acordo com a entrada de cátions correspondentes em grandes proporções.

No pegmatito Quintos a Ti-ixiolita ocorre sob a forma de pequenos cristais idiomórficos (2 a 4mm x 10mm), tabulares, na transição da zona de contato com a zona II. Tem cor cinza escuro, brilho metálico, fraca refletividade e fraturas irregulares. Ao longo das fraturas da Ti-ixiolita observou-se inclusões idiomórficas de uranomicrolita, fersmita, Mn-columbita calcífera, além de hematita e uranopirocloro, todas formadas provavelmente por alteração no estágio hidrotermal. Inclusões idiomórficas, possivelmente primárias de zircão rico em Hf, uranomicrolita e de uraninita (alterada para rutherfordita) também são observadas. O estudo petrográfico revelou uma anisotropia um pouco mais intensa que a da columbita, porém sem as cores de interferência da tapiolita (amarelo esverdeado a azul escuro), reflexos internos amarronzados, não tão intensos quanto os da cassiterita ou do rutilo (Beurlen *et al.*, 2004).

A distinção entre Ti-ixiolita e Mn-columbita só foi possível a partir de análises de MSE. Ti-ixiolita apresenta composição não usual, conforme Tabela 8.11 e Anexo VI, com TiO₂, Nb₂O₅, Ta₂O₅ e Fe₂O₃ variando respectivamente de 18 a 33%, 17 a 40% 9 a 43% e 13 a 18% em peso. Foi observado zoneamento composicional oscilatório, como mostrado na Figura 8.29 (perfil), com uma tendência geral de enriquecimento de Ta e Mn no núcleo e Ti, Nb e Fe nas bordas, com um *trend* aparentemente contraditório com a tendência geral que seria a de enriquecimento de Ta e Mn na borda. Trends inversos já foram observados por Tindle *et al.* (1998) em pegmatitos muito fracionados, mineralizados em pollucita *apud* Beurlen *et al.* (2004). A composição da Ti-ixiolita, plotada no diagrama ternário Nb,Ta-Ti,Sn-Fe,Mn é mostrada na Figura 8.30. A fórmula estrutural foi obtida a partir de análise de microsonda eletrônica no Instituto de Geociências da USP, calculada para 24 oxigênios e um total de 12 cátions, sendo recalculada para compensar o excesso (0,7 além dos 12apfu teóricos), transformando-se parte do Fe²⁺ em Fe³⁺ até a soma de cátions atingir 12apfu, de acordo com a metodologia de Ercit *et al.* (1992a). Na Tabela 8.11 mostra-se resultados de análises químicas (valores médios) dos tantalatos estudados. Dados completos das análises encontram-se no Anexo V.

Esta composição mineral extrapola os valores usuais de Ta+Nb no Nb-rutilo e os conteúdos de Ti nas Ti-ixiolitas e Ti-wodginitas. Os mecanismos dominantes para a incorporação de Ti e Fe³⁺ na estrutura destes minerais são:



acompanhada da substituição oscilatória Nb \leftrightarrow Ta comum aos nióbio-tantalatos de um modo geral (Beurlen *et al.* 2003a).

Tabela 8.11 – Análises químicas (valores médios) dos nióbio-tantalatos estudados, por pegmatito, calculados para 24 (O). * = análise semi-quantitativa obtida por MEV (IGE-Unicamp); as análises de Mn-columbita, Ti-ixiolita e fersmita foram obtidas por microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP; as análises de Cs-Bi-tantita foram obtidas por microsonda eletrônica, GeoForschungsZentrum, Potsdam, Alemanha; n = número de análises; n.a. = não analisado

Pegmatito	Boqueirão		Capoeira 2		Quintos	
	Mn-columbita	Mn-columbita*	Cs-Bi-tantita	Ti-ixiolita	Fersmita	
Ta ₂ O ₅	17,44	14,03	63,89	19,44	11,33	
Nb ₂ O ₅	60,94	61,80	4,96	31,90	69,87	
TiO ₂	1,41	2,52	0,06	26,34	2,30	
WO ₃	0,04	n.a.	0,00	0,01	0,02	
MnO	11,25	14,87	1,43	0,72	0,28	
Fe ₂ O ₃ (calc)				16,90		
FeO(calc)				3,21		
FeO(total)	6,69	6,80	0,04	18,57	0,32	
SnO ₂	0,01	n.a.	0,00	0,34	0,03	
MgO	0,00	n.a.	0,00	n.a.	0,00	
CaO	n.a.	n.a.	2,65	0,01	16,61	
Na ₂ O	n.a.	n.a.	1,35	0,01	0,00	
Al ₂ O ₃	n.a.	n.a.	0,01	0,31	0,00	
Bi ₂ O ₃	n.a.	n.a.	19,89	n.a.	0,05	
Sb ₂ O ₃	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	0,00	
UO ₂	n.a.	n.a.	0,00	n.a.	0,00	
Total	97,77	100,02	94,28	99,18	100,81	
n	11	1	3	19	1	
Ta	1,16	0,90	6,67	1,17	0,68	
Nb	6,75	6,61	0,86	3,07	6,99	
Ti	0,26	0,45	0,02	4,21	0,38	
W	0,00		0,00	0,00	0	
Mn	2,33	2,98	0,46	0,13	0,05	
Fe ³⁺				2,73		
Fe ²⁺				0,58		
Fe(total)	1,37	1,34	0,01		0,06	
Sn	0,00		0,00	0,03	0	
Mg	0,00		0,00		0	
Ca			1,08	0,00	3,94	
Na			1,00	0,00	0	
Al			0,00	0,08	0	
Bi			2,04		0	
Sb					0	
U			0,00		0	
Total	11,87	12,28	12,14	12,00	12,11	
Mn/(Mn+Fe)	0,630	0,690	0,979	0,038	0,455	
Ta/(Ta+Nb)	0,147	0,120	0,886	0,276	0,089	

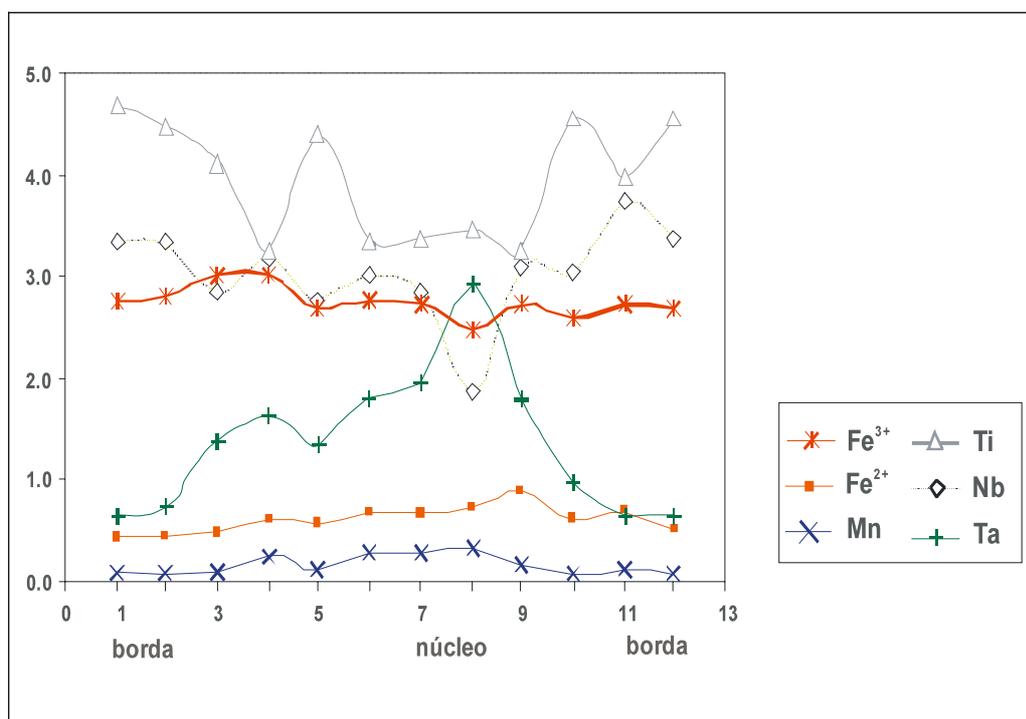


Figura 8.29 – Perfil borda-núcleo-borda de um cristal de Ti-ixiolita do pegmatito Quintos, mostrando sua variação composicional, conforme Beurlen *et al* (2003a)

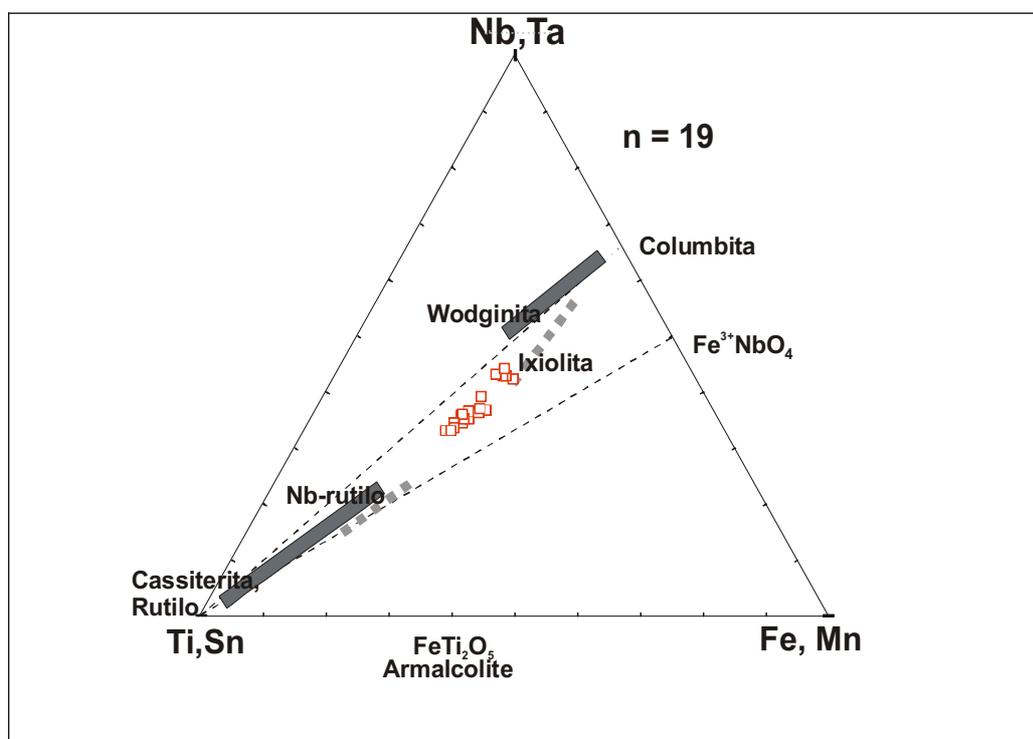


Figura 8.30 – Diagrama ternário Nb,Ta-Ti,Sn-Fe*,Mn para Ti-ixiolita do pegmatito Quintos, modificado de Beurlen *et al.* (2003a). Dados obtidos por MEV; Fe = Fe total. quadrados vermelhos = análises químicas das titano-ixiolitas estudadas; barras cheias = dados de Černý *et al* (1998); barra pontilhada = dados de Uher *et al.* (1998); n = número de análises

A composição da Ti-ixiolita plotada no diagrama ternário Nb,Ta-Ti,Sn-Fe,Mn (Figura 8.30) situa-se em um *trend* linear entre Nb-rutilo, titanowodginita e ixiolita, preenchendo um *gap* composicional existente entre Nb-rutilo, Ti-ixiolita e Ti-wodginita, observado por Uher *et al.* (1998) e Černý *et al.* (1998), *apud* Beurlen *et al.* (2004).

Uma imagem BSE obtida por MEV (Figura 8.31) mostra a zonação da Ti-ixiolita do pegmatito dos Quintos, com alternância de faixas escuras (Ti, Nb) e claras (Ta, Nb), em zoneamento composicional oscilatório.

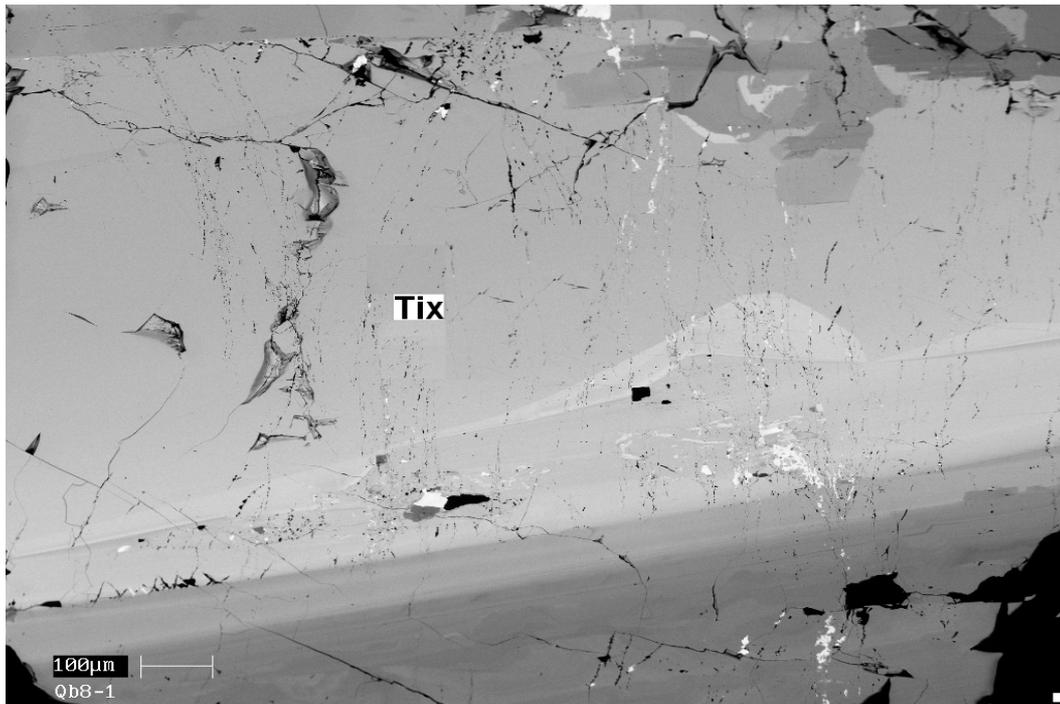


Figura 8.31 – Imagem BSE obtida por MEV, mostrando zonação composicional oscilatória intensa na Ti-ixiolita (Tix) do pegmatito Quintos. As faixas mais claras correspondem as zonas mais ricas em Ta e as faixas mais escuras (bordas), na parte inferior da imagem correspondem as faixas mais ricas em Ti e Nb

Fersmita – É um mineral da família da euxenita, de fórmula $\text{Ca}(\text{Nb,Ta})_2\text{O}_4$, não encontrado no estado metamítico e que exibe uma estrutura similar a da columbita-tantalita, ordenada, podendo ocorrer como fase secundária substituindo euxenita, columbita, stibiotantalita e pirocloro (Černý & Ercit, 1989). A fersmita é um nióbio-tantalato que ocorre em diversos tipos de pegmatitos de elementos raros. Segundo Černý & Ercit (1989) a fersmita pode ocorrer em pegmatitos dos subtipos allanita, gadolinita e lepidolita, não sendo, portanto um bom indicador do nível de fracionamento de pegmatitos.

No pegmatito Quintos a fersmita ocorre na transição da zona de contato com a zona II, em fraturas de Ti-ixiolita sob a forma de cristais tabulares de $10 \times 30 \mu\text{m}$. A partir de estudos petrográficos ficou evidente, que em relação à columbita, sua refletividade é mais baixa e pleocroísmo e reflexos internos mais intensos. A posição da fersmita, dentro de fraturas,,

associada com minerais do grupo do pirocloro (uranomicrolita, plumbo e uranopirocloro) e ilmenohematita, indica uma origem secundária, no estágio hidrotermal (Uher *et al.*, 1998). Natrobistantita (ou Na-Ca cesstibtantita) – ocorre em pockets, constituídos por albita lamelar e quartzo e cristais esporádicos de elbaíta gemológica rósea ou azul turquesa e Nb-rutilo, sob a forma de grãos irregulares de aproximadamente 5 mm. Mostra uma microtextura colomórfica a esferulítica, com variável refletividade. A refletividade máxima é menor que a do Nb-rutilo. Aparentemente não apresenta pleocroísmo nem anisotropia. A composição química obtida por microsonda eletrônica no Instituto de Geociências da USP é, em peso, Ta₂O₅ (64%), Bi₂O₃ (20%), Nb₂O₅ (5%), CaO (2,7%), Na₂O (1,3%), MnO (1,2%), com Cs preliminarmente determinado qualitativamente por EDAX (Beurlen *et al.*, 2004) e confirmado recentemente por MSE, com até 4%, em peso de Cs₂O. A seguir, na Figura 8.32, quadrilátero Ta/(Ta+Nb) versus Mn/(Mn+Fe), plotou-se dados químicos de nióbio-tantalatos estudados e outros da PPB, citados na literatura, para servirem de comparação.

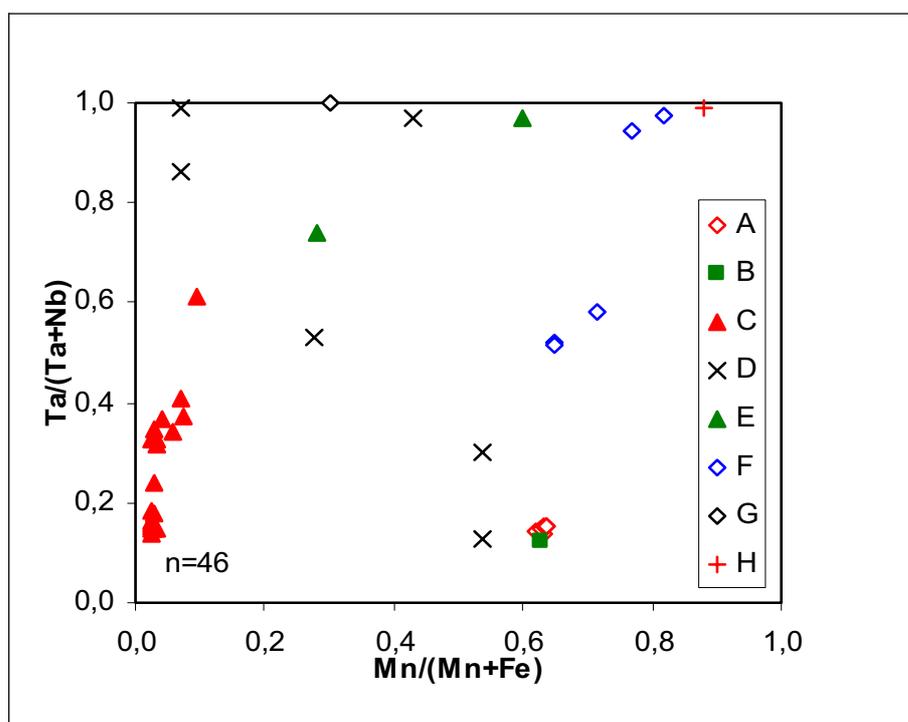


Figura 8.32 – Quadrilátero Ta/(Ta+Nb) versus Mn/(Mn+Fe) (Beugnies & Mozafari, 1968), para nióbio-tantalatos estudados neste trabalho e alguns outros da PPB citados na literatura, em proporções moleculares, A = Mn-columbita (Boqueirão), este trabalho; B = Mn-columbita (Capoeira 2), este trabalho; C = Ti-ixiolita (Quintos), este trabalho; D = columbita-tantalita e tapiolita (vários pegmatitos), Adusumilli (1976); E = wodginita (vários pegmatitos), Adusumilli (1976); F = Mn-tantalita (Alto do Giz), Robinson *et al.* (2002); G = Fe-tapiolita (Alto do Giz), Černý *et al.* (1992); H = Mn-tantalita (Alto do Giz), Černý *et al.* (1992); n = número de análises

No quadrilátero Ta/(Ta+Nb) versus Mn/(Mn+Fe) observa-se uma dispersão muito grande de pontos, não sendo possível estabelecer um *trend* de diferenciação a partir destes poucos dados disponíveis dos nióbio-tantalatos da PPB.

8.4.4 - Discussão

Nos pegmatitos estudados observou-se a presença de uma razoável variedade de nióbio-tantalatos, alguns deles exóticos, tais como Ti-ixiolita, Mn-columbita, fersmita, Na-Ca-cessbitantita, uranomicrolita e uranopirocloro. Alguns destes minerais podem ser indicativos do nível de fracionamento dos pegmatitos onde ocorrem. A dificuldade de se proceder uma amostragem sistemática nos pegmatitos que propiciasse entender o fracionamento de Ta e Nb ao longo do processo pegmatítico, torna difícil estabelecer um nível de fracionamento para estes pegmatitos a partir dos nióbio-tantalatos. Entretanto a ocorrência de minerais como uranomicrolita e Na-Ca-cessbistantita apontam para um nível elevado de fracionamento destes pegmatitos, coerente com a química mineral de micas, feldspatos, granadas, turmalinas e gahnita.

8.5 – Granada

As granadas formam um grupo de minerais cuja fórmula química geral pode ser expressa, segundo Černý & Hawthorne (1982), por $X_3Y_2Z_3O_{12}$ onde:

- **X** é representado por Ca, Mn, Fe²⁺, Mg e quantidades menores de Zn, Y³⁺, Na
- **Y** é representado por Al, Fe³⁺, Cr³⁺ e quantidades menores de Ti, V³⁺, Fe²⁺, Sn⁴⁺, Zr
- **Z** é representado por Si e quantidades menores de Al, Ti, Fe³⁺, P

As granadas podem ser divididas nas séries pirlaspita (piropo, almandina, espessartita) e ugrandita (uvarovita, grossulária, andradita). Existe um completo isomorfismo dentro dessas séries, mas solução sólida entre as séries é menos freqüente (Černý & Hawthorne, 1982).

Granadas são minerais mais típicos de rochas metamórficas, mas ocorrem também em granitos, rochas vulcânicas e pegmatitos. Formam um grupo de excepcional importância petrológica no estudo de pegmatitos (Sokolov & Khlestov, 1990). A composição química das granadas pegmatíticas comuns está restrita à série almandina-espessartita, com pequenos conteúdos de Mg e Ca. De acordo com Baldwin & Von Knorring (1983), 80 a 95% de todas as ocorrências de granadas em pegmatitos e em granitos são espessartitas ou almandina. O conteúdo de MnO em granadas pode fornecer informações sobre a profundidade de rochas ígneas. As rochas formadas a grandes profundidades são mais ricas no componente almandina, enquanto a predominância de espessartita é mais favorável a ambientes menos profundos (Green, 1977).

Granadas de pegmatitos de máxima profundidade mostram composição semelhante às das granadas associadas a rochas de alto grau metamórfico. Pegmatitos de grandes

profundidades e portadores de mica hospedam granadas de composição semelhantes à anterior, entretanto com menores conteúdos de Ca e Mg. Em pegmatitos de elementos raros, os conteúdos de Ca e Mg diminuem abruptamente, enquanto o conteúdo de Mn aumenta até a completa substituição do Fe (Černý & Hawthorne, 1982).

Baldwin & Von Knorring (1983) observaram que espessartita ocorre em pegmatitos complexos que contêm zonas ricas em Li, contendo geralmente grandes quantidades de lepidolita, espodumênio, ambligonita, turmalina, petalita, entre outros, enquanto que granadas de composição intermediária espessartita-almandina são mais comuns em pegmatitos que têm pouco ou nenhum mineral de lítio e que granadas com $Fe > Mn$ são comuns em zonas mural e de contato. Esses autores correlacionaram, através do gráfico $(FeO+MgO)\%$ versus $(MnO+CaO)\%$, em peso, os teores desses elementos com a posição da granada dentro do pegmatito. Também desenvolveram perfis borda-núcleo-borda em cristais de granada, mostrando um aumento de MnO no núcleo dos cristais.

Uma razoável quantidade de elementos traços podem entrar na estrutura das granadas. Jafee (1951) lista alguns elementos traços encontrados em granadas: Y, Ti, Cr, Na, Ga, Li, Dy, Gd, Ho, Yb, Er, La, Ce, Nd, Pr, Sr, F, V, B, Be, Ge, Sn, Pb, Cu, Nb. Desses elementos Y e Ti são bastante estudados. O Y é notável por substituir o Mn em espessartitas de pegmatitos, chegando até quantidades superiores a 2% de Y_2O_3 (Deer *et al.*, 1981). Jafee (op. cit.) mostra que Y^{3+} substitui Mn^{2+} com a substituição dada por $Y^{3+}Al^{3+} \rightarrow Mn^{2+}Si^{4+}$. De acordo com Glebov *et al.* (1969) o conteúdo de Y cresce das granadas precoces para as tardias. O Ti ocorre em pequenas quantidades nas espessartitas e almandinas.

Cristais de granadas freqüentemente exibem zoneamento químico normal, ou seja, quando o conteúdo de Fe cresce do núcleo para as bordas dos cristais com concomitante diminuição do conteúdo de Mn, ou zoneamento reverso, quando o conteúdo de Fe decresce do núcleo para as bordas (Manning, 1983), ou mesmo zoneamento complexo, quando não segue nenhum dos padrões citados anteriormente (Gieré, 1984, *apud* Zhang *et al.*, 2001).

Em pegmatitos individuais granadas podem ocorrer em várias gerações. Podem estar presentes em zonas de borda (ricas em muscovita ou aplíticas), em zonas intermediárias (complexos muscovita + quartzo) e em unidades albitizadas, associada com cleavelandita (Černý & Hawthorne 1982). A composição das granadas varia de acordo com sua posição dentro do pegmatito. Existe uma tendência de que granadas tardias, localizadas em corpos de substituição, ou nas vizinhanças do núcleo, serem ricas em Mn e pobres em Fe (Baldwin & Von Knorring, 1983), ao contrário de granadas das partes mais exteriores dos pegmatitos, onde as granadas são mais ricas em Fe.

Arredondo *et al.* (2001) estudando granadas da série espessartita-almandina em pegmatitos da Califórnia e Virgínia (EUA) observaram que o conteúdo de OH cresce da

zona de bordo para o núcleo, refletindo o crescimento da atividade de H₂O durante a cristalização. O conteúdo de OH, bem como os de Fe e Mn podem ser utilizados na avaliação da evolução geoquímica de pegmatitos.

Nos pegmatitos da Província Pegmatítica da Borborema as granadas, ainda pouco estudadas, são minerais acessórios comuns, ocorrendo principalmente nas zona I e II, associada com K-feldspato, schorlita, albita, quartzo, podendo também ocorrer nas outras zonas e em corpos de substituição, mas geralmente com conteúdo elevado de espessartita. Notáveis são as espessartitas gemas que ocorrem no pegmatito Alto Mirador, Carnaúba dos Dantas, Estado do Rio Grande do Norte, de excepcional qualidade gemológica (Ferreira, 1997), que chegam a conter 93,7% da molécula de espessartita, calculados a partir de dados de Eeckhout *et al.* (2002). Estudo sobre química mineral das granadas dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos foram desenvolvidos por Soares & Beurlen (2003).

8.5.1 – Granadas do Pegmatito Boqueirão

No pegmatito Boqueirão foram estudadas granadas da zona II e de corpos de substituição. Estes minerais são euédricos, de dimensões milimétricas (geralmente menores que 5mm), coloração alaranjada, associadas a K-feldspato, albita, quartzo, schorlita e elbaíta, quase sempre bastante fraturados, com raras inclusões de turmalina. Um quadro resumo das análises químicas das granadas dos pegmatitos estudados são mostrados na Tabela 8.12 e os dados completos estão no Anexo VI.

A composição molecular em termos dos componentes espessartita(Esp)-almandina(Alm)-piropo(Pir)-grossulária(Gro) são pouco variáveis, observando-se um domínio do componente espessartita, que atinge 88mol% nas granadas do pegmatito Quintos. Percebe-se uma pequena diminuição do componente espessartita nas granadas dos corpos de substituição em relação às granadas da zona II, com concomitante aumento no componente almandina.

Variações químicas borda-núcleo-borda para os elementos Mn, Fe, Mg e Ca são mínimas.

8.5.2 – Granadas dos Pegmatitos Capoeira

Nos pegmatitos Capoeira foram estudadas granadas da zona I (pegmatitos Capoeira 1, 2 e 3), zona II (pegmatitos Capoeira 1 e 2) e da zona da albita (pegmatito Capoeira 2), associadas com K-feldspato, albita, quartzo e dravita. Seus cristais são euédricos, de dimensões milimétricas (geralmente menores que 3mm) e coloração alaranjada, quase sempre bastante fraturados, podendo conter inclusões de zircão metamítico.

Tabela 8.12 – Análises químicas (valores médios) das granadas dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos

Oxidos	Boqueirão		Capoeira 1		Capoeira 2			Capoeira 3		Quintos	
	Zona II	CS	Zona I	Zona II	Zona I	Zona II	Z. Albita	Zona I	Zona I	Centro*	Centro**
%peso	36,50	36,17	36,75	36,23	36,56	35,96	36,33	36,47	36,26	35,83	36,80
SiO ₂	20,70	20,66	20,90	22,63	21,60	22,13	21,00	20,60	22,25	19,85	20,77
TiO ₂	0,08	0,03	0,08	0,05	0,15	0,13	0,14	0,08	0,14	0,20	0,14
FeO	14,10	14,63	10,76	10,04	12,63	12,28	11,98	10,94	6,74	5,29	3,73
MnO	26,47	26,19	27,97	27,99	27,42	28,11	28,51	29,49	33,57	36,17	38,06
MgO	1,24	1,45	2,41	2,31	0,99	0,81	0,84	1,07	0,81	1,43	0,68
CaO	0,30	0,39	0,18	0,15	0,38	0,28	0,29	0,51	0,29	0,53	0,34
Na ₂ O	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
Cr ₂ O ₃	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,02	0,01	0,05	0,02	0,06	0,06	0,06	0,08	0,06	0,03	0,02
Total	99,45	99,56	99,15	99,45	99,82	99,80	99,18	99,27	100,13	99,35	100,56
n	9	14	6	8	7	8	8	15	5	6	9
apfu											
Mn	3,68	3,65	3,87	3,84	3,79	3,89	3,98	4,11	4,62	5,08	5,25
Fe ²⁺	1,91	1,86	1,46	1,36	1,70	1,65	1,64	1,49	0,85	0,43	0,50
Mg	0,30	0,36	0,59	0,56	0,24	0,20	0,21	0,26	0,20	0,35	0,16
Ca	0,05	0,07	0,03	0,03	0,07	0,05	0,05	0,09	0,05	0,09	0,06
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
Total X	5,95	5,94	5,96	5,80	5,81	5,81	5,88	5,98	5,74	5,95	5,97
Al ^{VI}	3,99	3,95	4,01	4,18	4,10	4,13	4,04	3,99	4,15	3,81	3,98
Fe ³⁺	0,03	0,15	0,01	0,01	0,12	0,02	0,01	0,00	0,07	0,31	0,01
Ti	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,03	4,11	4,03	4,19	4,13	4,17	4,07	4,00	4,23	4,14	4,01
Si	5,99	5,95	5,99	5,86	5,96	5,88	5,98	6,00	5,89	5,94	6,00
Al ^{IV}	0,01	0,05	0,01	0,14	0,07	0,12	0,03	0,01	0,11	0,06	0,01
Total Z	6,01	6,00	6,00	6,00	6,01	6,00	6,01	6,01	6,00	6,00	6,01
Total	15,99	16,05	15,98	15,99	15,95	15,97	15,96	15,99	15,96	16,09	15,99
Esp	61,62	59,95	64,94	66,39	65,12	66,91	67,56	68,87	79,86	81,11	87,77
Alm	32,41	33,07	24,67	23,52	29,62	28,84	28,05	25,23	15,86	11,72	8,50
Pir	5,10	5,84	9,86	9,63	4,12	3,41	3,52	4,41	3,40	5,66	2,75
Gro	0,87	1,14	0,53	0,46	1,14	0,84	0,86	1,50	0,87	1,51	0,98
Mn/(Mn+Fe)	0,66	0,64	0,72	0,74	0,69	0,70	0,71	0,73	0,83	0,87	0,91

Esp = Espessartita; Alm = Almandina; Pir = Piropro; Gro = Grossulária; n = número de análises; CS = corpo de substituição; Z. Albita = zona de albita
 (*) Granada inclusa em berilo; (**) Granada associada com albita

Como se observa na Tabela 8.12, a composição molecular das granadas dos pegmatitos Capoeira, predominantemente espessartita, é entretanto muito variável em termos do componente piropo, embora estes corpos pegmatíticos localizem-se muito próximos. No pegmatito Capoeira 1, o conteúdo da molécula de piropo varia entre 9,6 e 9,9% , enquanto que nos pegmatitos Capoeira 2 e 3 o valor máximo do componente piropo é de 4,1% (zona I do pegmatito Capoeira 2). De um modo geral nota-se um maior enriquecimento no componente piropo nas zonas I dos pegmatitos Capoeira, em relação às demais unidades.

Variações químicas borda-núcleo-borda para os elementos Mn, Fe, Mg e Ca são mínimas.

8.5.3 – Granadas do Pegmatito Quintos

No pegmatito Quintos estudou-se granada da zona I e da parte central do corpo. Na zona I ocorrem cristais euédricos de granadas, de dimensões milimétricas, associados com albita, quartzo, apatita e dravita. A granada da parte central do pegmatito está inclusa em berilo verde leitoso. Seus cristais são euédricos a subédricos, às vezes substituído em parte por berilo, de dimensões milimétricas (até 3mm), coloração alaranjada e, quase sempre bastante fraturado.

Na Figura 8.33d mostra-se um perfil borda-núcleo-borda de um cristal de granada (QB-003) da parte central do pegmatito Quintos, com 3mm de diâmetro, com zoneamento complexo.

8.5.4 – Interpretação da Química Mineral e Discussão

A composição molecular de todas as granadas estudadas mostra conteúdo de espessartita, às vezes maior que 80% (pegmatito Quintos) conforme Tabela 8.12., com quantidades razoáveis de almandina e pequenas concentrações de piropo e grossulária. As variações na composição química destas granadas envolvendo Mn e Fe são muito pequenas, diferentemente de outras granadas citadas na literatura. Pequenas concentrações de TiO_2 (0 a 0,37%), Y_2O_3 (0 a 0,14%), Na_2O (0 a 0,06%) e Cr_2O_3 (0 a 0,02%) são observadas nestas granadas. De um modo geral a composição química das granadas apontam para um ambiente empobrecido em Ca e que pouco se enriqueceu em Mn ao longo do processo de cristalização.

Na Figuras 8.33a a 8.33d mostram-se perfis borda-núcleo-borda de cristais de espessartita dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira 1, Capoeira 2 e Quintos, onde se observa uma composição homogênea de borda para núcleo em relação aos elementos Fe, Mg, Mn, Ca, diferente de muitas outras granadas citadas na literatura, que normalmente exibem pronunciado zoneamento normal, reverso ou complexo (Baldwin & Von Knorring, 1983; Manning, 1983; Abella, 1995; Kleck & Foord, 1999; Zhang *et al.*, 2001, entre outros).

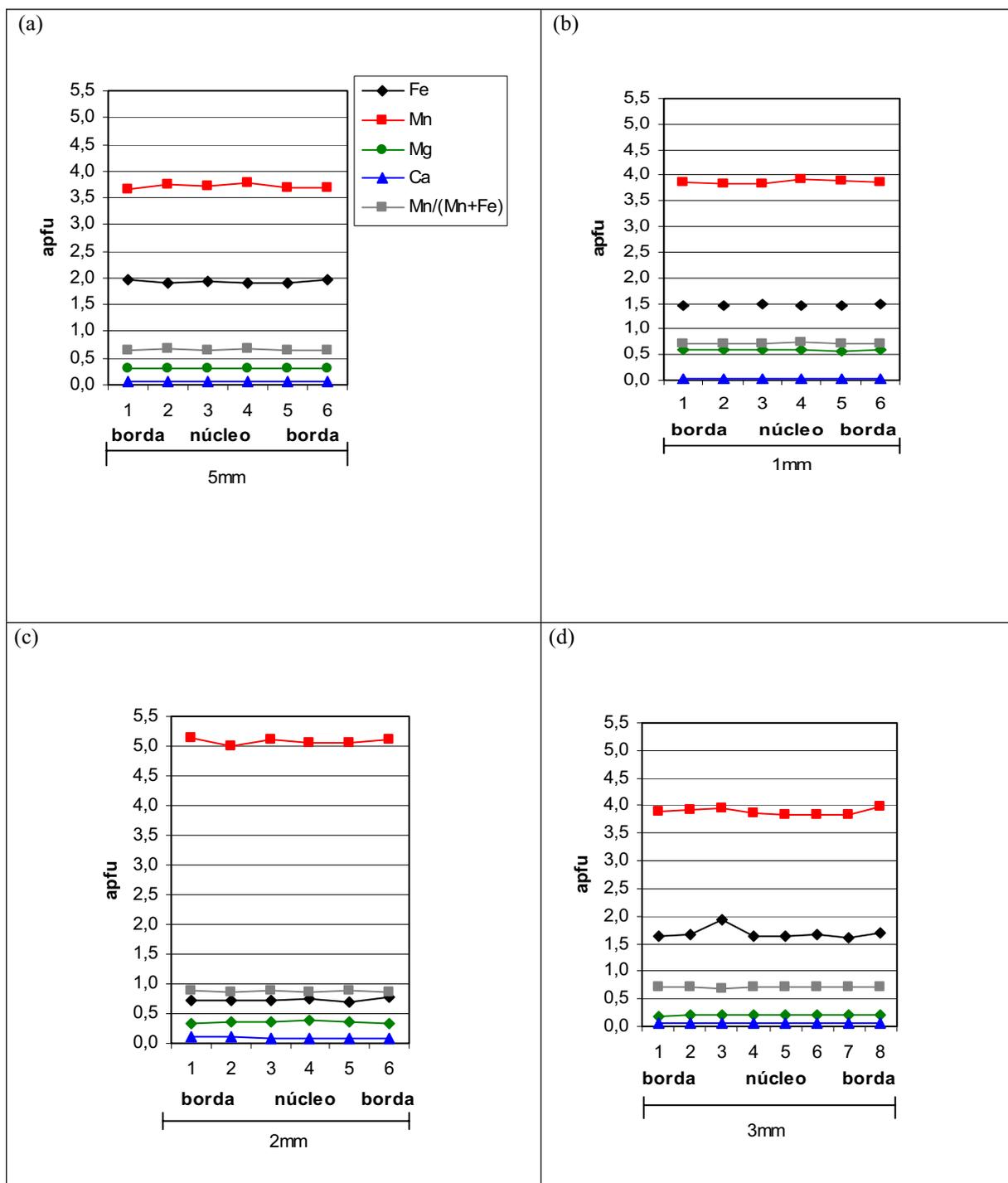


Figura 8.33 – Perfis borda-núcleo-borda mostrando composições homogêneas de Fe, Mn, Ca, Mg, Mn/(Mn+Fe), em cristais de granada: (a) Zona II do pegmatito Boqueirão; (b) Zona I do Pegmatito Capoeira 1; (c) Zona II do pegmatito Capoeira 2; (d) parte central do pegmatito Quintos.

Nos pegmatitos Quintos, Capoeira 1 e Capoeira 2 ocorre um discreto aumento do conteúdo de MnO das unidades mais precoces para as mais tardias, seguindo uma tendência geral em ambientes pegmatíticos, conforme Baldwin & Von Knorring (1983), indicando uma evolução química do meio com concentração de Mn^{2+} nos estágios tardios da cristalização. No pegmatito Boqueirão ocorre o inverso: o conteúdo de MnO é discretamente

menor nos corpos de substituição (26,19%) que na zona II (26,47%). Considerando uma variação muito reduzida neste caso, é possível no entanto, que ele esteja na faixa do erro analítico.

Ao contrário do que ocorre em outros pegmatitos como Muiane, Moçambique (Baldwin & Von Knorring, 1983) e Mina do Cruzeiro, São José da Safira, Minas Gerais (César Mendes, 1995), onde as granadas das zonas mais externas são predominantemente almandina, passando paulatinamente para espessartita nas unidades mais interiores, as granadas estudadas, já nas zonas mais externas (I e II), mostram domínio da molécula de espessartita, chegando, nas unidades mais interiores a 87,8 mol% de espessartita, com relação $Mn/(Mn+Fe)$ atingindo 0,91, evidenciando o alto grau de fracionamento destes pegmatitos, atestado também pela química mineral de outras fases minerais como feldspatos, micas, turmalina e gahnita.

Ampla espectro de variação no conteúdo de Mn em diversas unidades de um mesmo pegmatito são citados na literatura. No pegmatito Muiane, Moçambique o conteúdo de MnO nas granadas da zona de contato é de 12,76% , atingindo 40,28% nas granadas dos corpos de substituição. No pegmatito Rosendal, Finlândia, observa-se pequena variação de MnO: 23,08% na zona intermediária, 27,21% no núcleo e 29,10% em corpos de substituição (Baldwin & Von Knorring, 1983). Na Mina do Cruzeiro, São José da Safira, Minas Gerais (César Mendes, 1995), o conteúdo de MnO nas granadas varia de 17,71% na zona de borda para 32,01% na zona intermediária interna do pegmatito. Figuras 8.34 e 8.35 mostram-se os diagramas ternários $Mg_{10}Fe-Mn$ e $Ca_{10}Fe-Mn$ (Černý & Hawthorne, 1982) para as granadas estudadas.

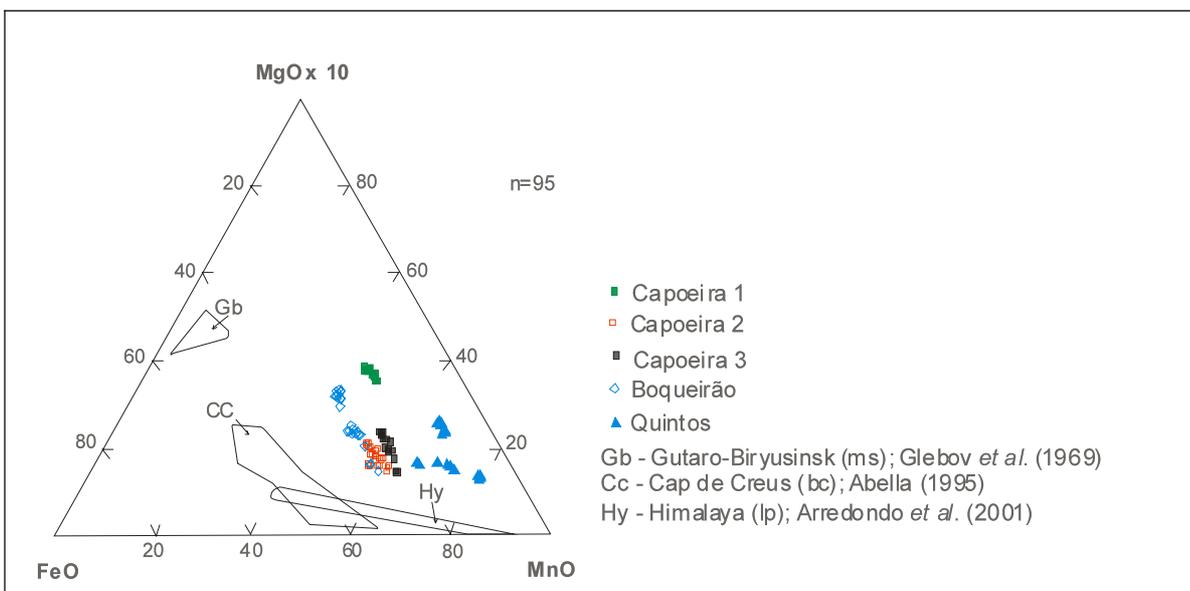


Figura 8.34 – Diagrama ternário $MgO_{10}Fe-MnO$ (Černý & Hawthorne, 1982) para as granadas estudadas. São inseridos campos composicionais de granadas de pegmatitos citados (e classificados) na literatura para servirem de parâmetros comparativos. n = número de análises, bc = subtipo berilo-columbita ; lp =subtipo lepidolita; ms = tipo muscovita.

Comparou-se os resultados com o de outros pegmatitos bem estudados e classificados segundo Černý (1991a), observando-se poucas variações químicas entre as granadas das porções exteriores e das unidades interiores dos pegmatitos estudados.

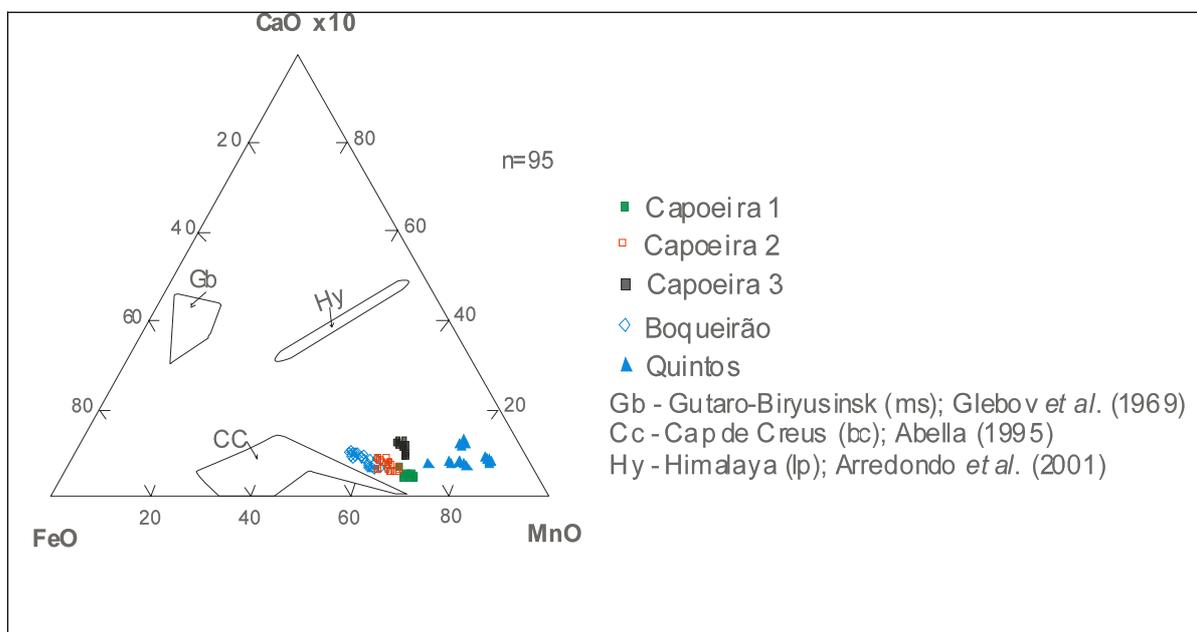


Figura 8.35 – Diagrama ternário CaOx10-FeO-MnO (Černý & Hawthorne, 1982) para as granadas estudadas. São inseridos campos composicionais de granadas de pegmatitos citados (e classificados) na literatura para servirem de parâmetros comparativos. n = número de análises, bc = subtipo berilo-columbita ; lp =subtipo lepidolita; ms = tipo muscovita.

Os valores analíticos obtidos para as granadas dos pegmatitos estudados são plotados no diagrama ternário FeO-MgO-MnO, Figura 8.36, proposto por Černý & Hawthorne (1982).

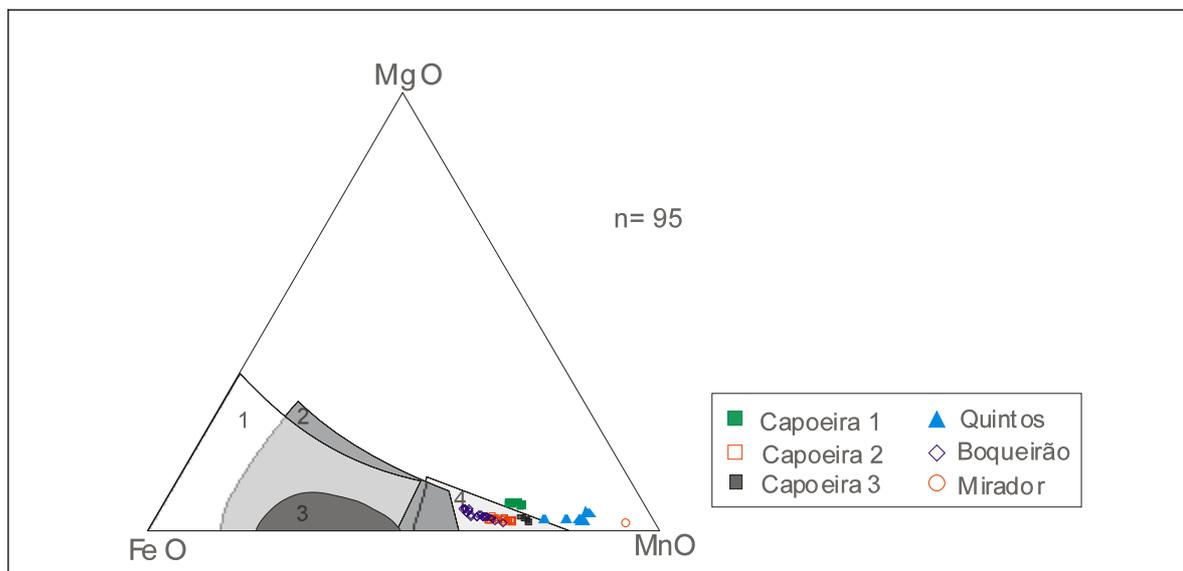


Figura 8.36 – Diagrama ternário MgO-FeO-MnO (Černý & Hawthorne, 1982) para as granadas estudadas. Os campos indicados são: (1) Formação muscovita A; (2) Formação muscovita B; (3) Formação metais raros+muscovita; (4) Formação metais raros; n = número de análises

Para efeito de comparação plotou-se o valor médio de granadas provenientes de cavidades mirolíticas do pegmatito Mirador (Eeckhout *et al.*, 2002). Observa-se que as granadas do pegmatito dos Quintos têm o maior conteúdo de Mn, ao contrário das granadas do pegmatito Boqueirão que têm menor conteúdo de Mn. Os dados das granadas dos pegmatitos Boqueirão e Capoeira estão inseridas no campo 4 (formação pegmatítica de metais raros), enquanto que as granadas do pegmatito Quintos situam-se em um nível mais evoluído, fora de qualquer campo, próximo ao vértice do MnO. É importante observar que nenhuma destas granadas se inserem nos campos 1, 2 ou 3, indicando um nível elevado de fracionamento destes pegmatitos.

O nível de fracionamento dos pegmatitos estudados podem ser também avaliados pelo diagrama (CaO+MnO) *versus* (FeO+MgO), proposto por Sokolov & Khlestov (1990), Figura 8.37. Nele plotou-se os dados das granadas estudadas e de outros pegmatitos (Muiane, segundo dados de Baldwin & Von Knorring, 1983 e Alto Mirador, segundo Eeckhout *et al.*, 2002) para servirem de parâmetros de comparação e inseriu-se uma seta indicando a direção do aumento do fracionamento.

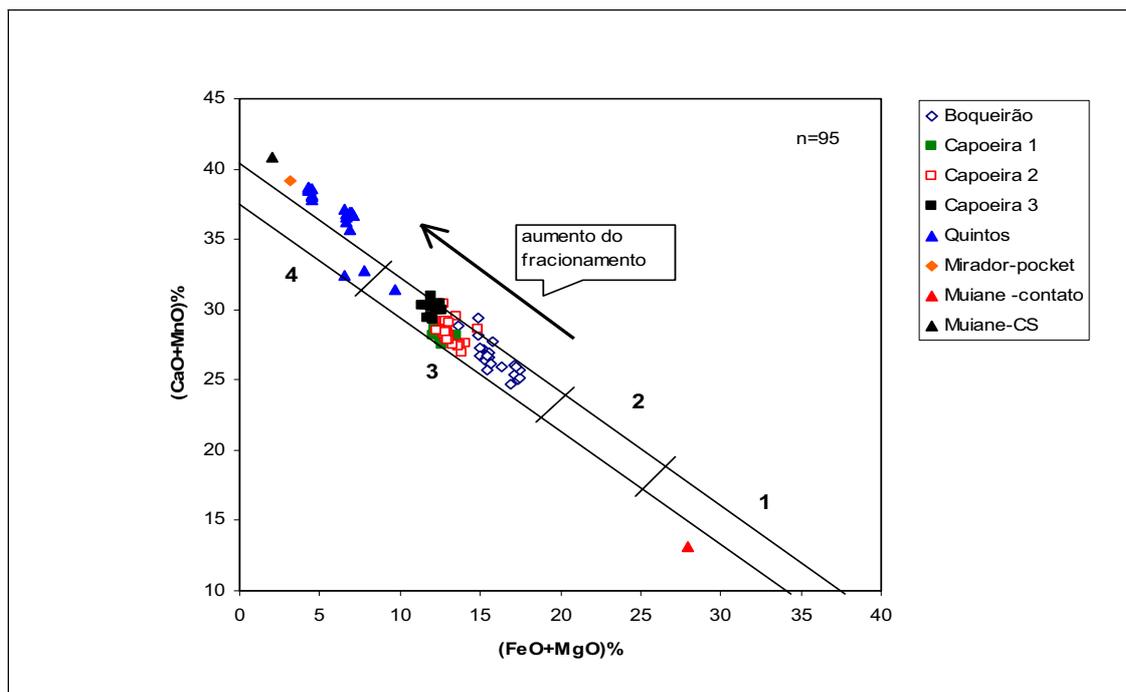


Figura 8.37- Diagrama (CaO+MnO) *versus* (FeO+MgO) para as granadas dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira e Quintos, conforme Sokolov & Khlestov (1990); n = número de análises das granadas estudadas, excluindo-se as análises de granadas dos pegmatitos Muiane (amostra do contato e de corpo de substituição), segundo Baldwin & Von Knorring (1983) e Mirador (Eeckhout *et al.*, 2002). Os campos se referem a pegmatitos tipo: (1) quartzo-feldspáticos, cerâmicos; (2) muscovíticos; (3) metais raros-muscovíticos; (4) metais raros; n = número de análises

Muitas granadas mostram excesso de Al, e a deficiência em Si é muito comum, comparados com os valores teóricos de 4 e 6 respectivamente, quando calculados para 24 (O). Substituições químicas limitadas de Si por Ti são citadas na literatura (Rankama &

Sahama, 1951) e de Mn por Y (Deer *et al.*, 1981). Nas granadas estudadas os conteúdos de TiO_2 e Y_2O_3 são muito baixos, indicando pouca ou nenhuma substituição envolvendo estes elementos (Soares & Beurlen, 2003).

As granadas do pegmatito Quintos são as mais evoluídas geoquimicamente, conforme ilustrado na Figura 8.37 situando-se preferencialmente no campo 4 proposto por Sokolov & Khlestov (1990), ou seja pegmatitos de metais raros, com altos conteúdos de $(CaO+MnO)\%$ e baixos conteúdos de $(FeO+MgO\%)$ e inseridas na classificação de granadas pegmatíticas de Baldwin & Von Knorring (1983), como granadas ricas em manganês (MnO entre 27% e 41%). Segundo estes últimos autores granadas ricas em Mn ocorrem nas partes interiores dos pegmatitos ou em corpos de substituição; observa-se, entretanto que granadas ricas em Mn ocorrem tanto na parte central como na zona I do pegmatito Quintos.

As granadas do pegmatito Boqueirão situam-se no menor nível de evolução, correspondendo ao campo 3 de Sokolov & Khlestov (1990), ou seja, pegmatitos de metais raros-muscovíticos, enquanto que os pegmatitos Capoeira 1, 2 e 3, mostram níveis mais elevados de fracionamento que o Boqueirão, porém similares, situando-se também no campo 3 dos autores citados.

Os dados geoquímicos das granadas corroboram com os dados das turmalinas mostrando uma evolução no grau de fracionamento dos pegmatitos Boqueirão, Capoeira 1, Capoeira 2 e destes para o Quintos. Indicam também que todos os pegmatitos estudados são bastante evoluídos geoquimicamente.

8.6 – Gahnita

Gahnita é um mineral do grupo dos espinélios (AB_2O_4), onde os sítios estruturais A e B são dominados respectivamente por Zn e Al, com considerável substituição de Zn por Fe e Mg, e com provável solução sólida completa entre $ZnAl_2O_4$ e $MgAl_2O_4$. Ocorre comumente em pegmatitos graníticos, podendo também estar presente em filões de substituição metassomática (Deer *et al.*, 1981) associada a almandina-essartita, muscovita, berilo, turmalina, columbita-tantalita, nigerita e ocasionalmente esfalerita (Černý & Hawthorne, 1982). Von Knorring & Dearnley (1960) detectaram a presença de elementos traços como Li, Rb, Ba, Be, Ga, Cu e Ti em gahnitas de pegmatitos.

Segundo Batchelor & Kinnaird (1984) Zn tende a se concentrar em minerais ferríferos tardios e a relação Zn/Fe tende a crescer com a diferenciação. Abella (1995) mostra a tendência do aumento do componente gahnita com a evolução geoquímica, que segundo Dietvorst (1980) ocorre devido a um efeito estabilizador do Zn com a diminuição da temperatura.

Batchelor & Kinnaird (1984) mostraram que as gahnitas de associação ígnea diferem das de associação metamórfica. Segundo esses autores o Mg é o elemento discriminador dos ambientes de formação de gahnitas: em pegmatitos ígneos e granitos altamente

diferenciados as gahnitas têm baixo conteúdo de Mg, enquanto que altos conteúdos de Mg são comuns em gahnitas associadas com xistos ou pegmatitos anatóxicos. Dados químicos sobre gahnita são bastante escassos.

Na PPB a gahnita ocorre em muitos pegmatitos, sendo porém pouco estudada. Trabalhos pioneiros sobre gahnita em pegmatitos da região são de Ferreira *et al.* 2003 e Soares *et al.* 2003. Alguns dados sobre gahnita, pesquisados na literatura, inclusive do pegmatito Alto Mirador, Carnaúba dos Dantas, Rio Grande do Norte, com excepcional relação Zn/Fe (53,64), são mostrados na Tabela 8.13.

Conforme Abella (1995) existe uma tendência da diminuição de Zn e aumento de Fe nas gahnitas da borda para o núcleo dos pegmatitos, com pequenas variações de Zn e Fe dentro de uma mesma unidade.

Na PPB a gahnita ocorre em vários pegmatitos, entre eles, Quintos e Capoeira 2 (este trabalho), Capoeira 1 (Robinson & Wegner, 1998) e Alto Mirador (Ferreira *et al.*, 2003). Neste trabalho foram estudadas gahnita dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos.

Tabela 8.13 – Dados químicos médios de algumas gahnitas de pegmatitos graníticos, citados na literatura.

Pegmatito/localização	Tipo/subtipo	Gh (mol%)	Zn/Fe	n	Referências
Alto Mirador/RN- Brasil (*)	?	95,1	53,64	6	Ferreira <i>et al.</i> (2003)
Cap de Creus/Espanha	Berilo/berilo-columbita	79,1(1) 65,8(2) 62,4(3)	4,03 2,37 1,85	1 20 2	Abella (1995)
Cap de Creus/Espanha	Albita	89,31(1a)	10,26	38	Abella (1995)
Chiapaval/Hebridias	?	78,7	4,00	1	Von Knorring & Dearnley (1960)
Rapid Separation/Canadá	Complexo/petalita	76,7	3,52	2	Tindle & Breaks (1998)

Gh = gahnita; n=número de análises; (1) = 1ª zona intermediária; (2) = 2ª zona intermediária; (3) = corpo de substituição; (1a) = zona intermediária. (*)Gahnita de cor verde clara; n = número de análises

8.6.1 – Gahnita do Pegmatito Capoeira 2

No pegmatito Capoeira 2 estudou-se um cristal euédrico de gahnita de 2mm, de cor verde esmeralda, que ocorre rara e exclusivamente na zona II, associada com quartzo, K-feldspato, muscovita e com inclusões ocasionais de Mn-columbita. Dados de análises químicas da gahnita do pegmatito Capoeira 2 são mostrados na Tabela 8.14, calculados para 32 (O), conforme Deer *et al.* (1981).

Estas gahnitas se caracterizam pelo alto conteúdo do componente gahnita (Gh = 91,3 a 91,8mol%), com razoável conteúdo de hercinita (Hr = 6,5 a 6,6mol%) e pequenos conteúdos dos componentes espinélio (Sp = 0,1 a 0,2mol%) e galaxita (Ga = 1,5 a 1,9mol%). Relação Zn/Fe, que pode ser utilizada como um indicador de diferenciação

(Batchelor & Kinnaird, 1984), varia entre 13,7 a 14,2, com valor médio de 13,9, sendo mais elevado que das gahnitas dos pegmatitos mostrados na Tabela 8.13, indicando um alto nível de fracionamento do pegmatito Capoeira 2.

Perfil borda-núcleo-borda (Figura 8.38a) desenvolvido a partir dos dados de microsonda eletrônica (amostra CA2-019, pontos 1 a 6) mostra um enriquecimento de Zn nas bordas, em relação ao núcleo. Fe e Mg mostram pequena variação de conteúdo nos vários pontos analisados.

Tabela 8.14 – Análises químicas da gahnita do pegmatito Capoeira 2 (amostra CA2-019), analisados por microsonda eletrônica no Instituto de Geociências, USP, com cátions calculados para 32 (O), segundo Deer *et al.* (1981), com concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimadas pelo método de Droop (1987). Gh = gahnita; Hr = hercinita; Sp = espinélio; Ga = galaxita

Óxidos %peso	1	2	3	4	5	6	Média
SiO ₂	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01
Al ₂ O ₃	55,90	56,25	55,63	56,19	56,12	55,76	55,97
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01
FeO	2,61	2,57	2,60	2,59	2,55	2,62	2,59
MnO	0,59	0,69	0,73	0,63	0,72	0,72	0,68
MgO	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03
ZnO	41,41	41,35	40,65	40,59	40,54	40,84	40,90
CaO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Total	100,55	100,90	99,65	100,10	100,00	99,99	100,20
apfu							
Zn	7,40	7,36	7,32	7,26	7,26	7,37	7,33
Fe ²⁺	0,47	0,49	0,52	0,52	0,52	0,47	0,50
Mn	0,12	0,14	0,15	0,13	0,15	0,15	0,14
Mg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total A	8,00	8,00	8,00	7,92	7,93	8,00	7,98
Al	15,95	15,98	15,99	16,04	16,04	16,07	16,01
Si	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,06	0,03	0,01	0,00	0,00	0,07	0,03
Total B	16,02	16,01	16,00	16,05	16,04	16,14	16,04
Gh	91,8	91,7	91,4	91,6	91,5	91,3	91,6
Hr	6,6	6,5	6,6	6,6	6,5	6,6	6,6
Sp	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1
Ga	1,5	1,8	1,9	1,6	1,9	1,8	1,7
Zn/Fe	14,0	14,2	13,8	13,9	14,1	13,7	13,9

Fórmula estrutural média: $^A(\text{Zn}_{7,33}\text{Fe}^{2+}_{0,50}\text{Mn}_{0,14}\text{Mg}_{0,01})_{7,98}{}^B(\text{Al}_{16,01}\text{Fe}^{3+}_{0,03})_{16,04}\text{O}_{32}$

Composição molecular média: Gh_{91,6}Hr_{6,6}Ga_{1,7}Sp_{0,1}

8.6.2 – Gahnita do Pegmatito Quintos

No pegmatito Quintos foram estudadas gahnitas localizadas na parte central do corpo, associadas com albita, muscovita, espessartita e quartzo. São cristais euédricos com

dimensões de 2 e 5mm, de cor verde claro, bastante fraturados. Os dados de análises químicas das gahnitas estudadas no pegmatito Quintos são mostrados nas Tabelas 8.15a e 8.15b.

Tabela 8.15a – Análises químicas da gahnita do pegmatito Quintos (amostra QB-025a, pontos 1 a 10), obtidos por microsonda eletrônica no Instituto de Geociências, USP, com cátions calculados para 32 (O), segundo Deer *et al.* (1981), com concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimadas pelo método de Droop (1987). Gh = gahnita; Hr = hercinita; Sp = espinélio; Ga = galaxita

Óxidos %peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
SiO ₂	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
TiO ₂	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01
Al ₂ O ₃	55,79	55,61	55,45	55,76	55,39	55,22	55,60	55,93	56,00	56,37	55,71
Cr ₂ O ₃	0,00	0,03	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
FeO	1,64	1,87	1,88	1,95	2,05	2,00	2,09	2,03	2,05	1,96	1,95
MnO	0,75	0,87	0,79	0,87	0,92	0,86	0,87	0,82	0,88	0,90	0,85
MgO	0,42	0,56	0,57	0,57	0,64	0,62	0,63	0,61	0,65	0,70	0,60
ZnO	41,69	40,66	40,80	40,61	40,85	40,11	40,28	40,70	41,03	41,19	40,79
CaO	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Total	100,31	99,63	99,56	99,77	99,88	98,86	99,49	100,12	100,64	101,16	99,94
apfu											
Zn	7,46	7,30	7,34	7,28	7,34	7,25	7,24	7,27	7,30	7,28	7,31
Fe ²⁺	0,23	0,31	0,29	0,34	0,24	0,34	0,36	0,34	0,28	0,28	0,30
Mn	0,15	0,18	0,16	0,18	0,19	0,18	0,18	0,17	0,18	0,18	0,18
Mg	0,15	0,20	0,21	0,20	0,23	0,23	0,23	0,22	0,23	0,25	0,22
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total A	8,00										
Al	15,93	15,94	15,92	15,96	15,88	15,94	15,95	15,95	15,91	15,92	15,93
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Cr	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,10	0,07	0,09	0,06	0,18	0,07	0,07	0,07	0,13	0,11	0,10
Total B	16,03	16,02	16,03	16,02	16,06	16,02	16,02	16,02	16,04	16,03	16,03
Gh	92,1	90,5	90,7	90,3	89,7	89,9	89,6	90,1	89,9	89,9	90,3
Hr	4,1	4,7	4,7	5,0	5,1	5,1	5,3	5,1	5,0	4,8	4,9
Sp	1,9	2,5	2,5	2,5	2,8	2,8	2,8	2,7	2,9	3,1	2,7
Ga	1,9	2,2	2,0	2,2	2,3	2,2	2,2	2,1	2,2	2,3	2,2
Zn/Fe	22,6	19,2	19,3	18,2	17,5	17,7	16,8	17,7	17,8	18,7	18,6

Fórmula estrutural média: $^A(\text{Zn}_{7,31}\text{Fe}^{2+}_{0,30}\text{Mg}_{0,22}\text{Mn}_{0,18})_{8,00}{}^B(\text{Al}_{15,93}\text{Fe}^{3+}_{0,10})_{16,03}\text{O}_{32}$

Composição molecular média: Gh_{90,3}Hr_{4,9}Sp_{2,7}Ga_{2,2}

As gahnitas do pegmatito Quintos caracterizam-se pelo alto conteúdo do componente gahnita (Gh = 88,3 a 92,1mol%), com razoável conteúdo de hercinita (Hr = 4,1 a 5,9mol%) e pequenos conteúdos dos componentes espinélio (Sp = 1,9 a 3,5mol%) e galaxita (Ga = 1,9 a 2,5mol%). Relação Zn/Fe varia entre 15,1 a 22,6.

Perfil borda-núcleo-borda (Figura 8.38b) desenvolvido a partir dos dados de microsonda eletrônica, USP, (amostra QB-025a, pontos 11 a 20) mostra que variações

reduzidas de Zn, Fe, Mg e Mn têm concentrações oscilando entre máximo e mínimo em pontos diferentes, indicando que esses elementos tiveram concentrações máximas em diferentes etapas da cristalização da gahnita, não sendo possível definir um padrão de cristalização.

Estas gahnitas (Quintos), se comparadas com as gahnitas do pegmatito Capoeira 2 têm conteúdo dos componentes hercinita, galaxita e gahnita similares, porém com conteúdo de espinélio consideravelmente superior.

Tabela 8.15b – Análises químicas da gahnita do pegmatito Quintos (amostra QB-025b, pontos 11 a 20), obtidos por microsonda eletrônica no Instituto de Geociências, USP, com cátions calculados para 32 (O), conforme Deer *et al.* (1981), com concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimadas pelo método de Droop (1987). Gh = gahnita; Hr = hercinita; Sp = espinélio; Ga = galaxita

Óxidos %peso	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	Média
SiO ₂	0,04	0,00	0,03	0,03	0,04	0,02	0,00	0,02	0,01	0,00	0,02
TiO ₂	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Al ₂ O ₃	56,04	56,28	56,23	55,29	55,26	55,39	55,82	55,84	55,77	55,60	55,75
Cr ₂ O ₃	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,02
FeO	2,20	2,31	2,33	2,28	2,22	2,32	2,31	2,17	2,18	2,10	2,24
MnO	0,90	1,00	0,90	0,95	0,97	0,91	0,90	0,96	0,87	0,92	0,93
MgO	0,69	0,78	0,73	0,75	0,78	0,77	0,80	0,79	0,70	0,66	0,75
ZnO	40,59	40,27	40,04	39,98	40,54	40,43	40,57	40,41	40,47	40,61	40,39
CaO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Total	100,49	100,70	100,32	99,31	99,83	99,88	100,43	100,19	100,01	99,90	100,11
apfu											
Zn	7,22	7,14	7,12	7,20	7,28	7,25	7,23	7,21	7,24	7,28	7,22
Fe ²⁺	0,34	0,38	0,43	0,33	0,24	0,28	0,30	0,31	0,33	0,30	0,32
Mn	0,18	0,20	0,18	0,20	0,20	0,19	0,18	0,20	0,18	0,18	0,19
Mg	0,25	0,28	0,26	0,27	0,28	0,28	0,29	0,29	0,25	0,24	0,27
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total A	8,00										
Al	15,92	15,93	15,96	15,90	15,84	15,86	15,88	15,91	15,92	15,91	15,90
Si	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ³⁺	0,10	0,08	0,04	0,13	0,21	0,19	0,17	0,13	0,11	0,13	0,13
Total B	16,03	16,02	16,01	16,04	16,06	16,06	16,06	16,04	16,04	16,04	16,04
Gh	89,2	88,3	88,6	88,6	88,7	88,6	88,5	88,7	89,3	89,5	88,79
Hr	5,4	5,7	5,9	5,7	5,5	5,7	5,8	5,4	5,4	5,3	5,57
Sp	3,1	3,4	3,3	3,4	3,4	3,4	3,5	3,5	3,1	3,0	3,31
Ga	2,3	2,5	2,3	2,4	2,4	2,3	2,2	2,4	2,2	2,2	2,33
Zn/Fe	16,4	15,5	15,1	15,7	16,2	15,4	15,4	16,4	16,4	16,9	15,95

Fórmula estrutural média: ^A(Zn_{7,22}Fe²⁺_{0,32}Mg_{0,27}Mn_{0,19})_{8,00}^B(Al_{15,90}Fe³⁺_{0,13})_{16,03}O₃₂

Composição molecular média: Gh_{88,8}Hr_{5,6}Sp_{3,3}Ga_{2,3}

As gahnitas do pegmatito Capoeira 2 mostram relação Zn/Fe média de 13,9 e fração molar de gahnita (Gh) de 91,6mol%, enquanto as gahnitas do pegmatito Quintos apresentam relação Zn/Fe variando entre 15,1 a 22,6 e fração molar de gahnita variando

entre 89,8 a 92,1mol%. Estes resultados obtidos (alta relação Zn/Fe a alto conteúdo do componente gahnita) associados à química mineral de outras fases minerais tais como micas, feldspatos, granadas e turmalinas, e comparados a outros dados citados na literatura (ver Tabela 8.13), apontam para um alto nível de diferenciação destes pegmatitos.

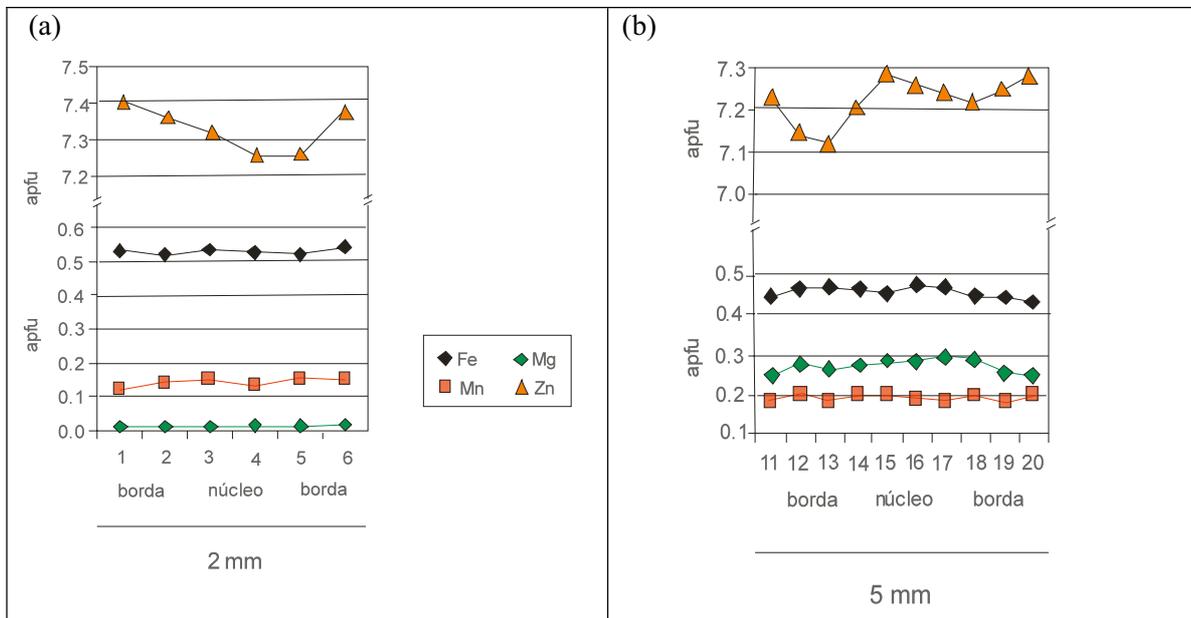


Figura 8.38 – Perfis borda-núcleo-borda: (a) Cristal de gahnita do pegmatito Capoeira 2 (amostra CA2-019, pontos 1 a 6); (b) Cristal de gahnita do pegmatito Quintos (amostra QB-025b, pontos 11 a 20). Os símbolos valem para as duas figuras.

8.6.3 - Discussão

Os dados químicos das gahnitas dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos foram plotados no diagrama ternário Zn-Mg-Fe, de Batchelor & Kinnaird (1984) conforme Figura 8.39

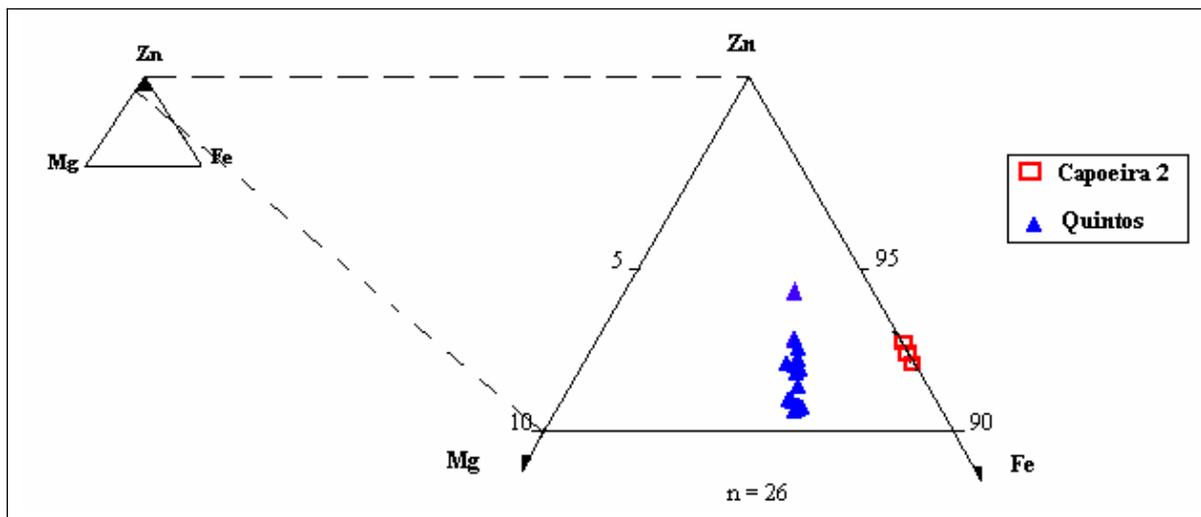


Figura 8.39 – Diagrama ternário Zn-Fe-Mg (Batchelor & Kinnaird, 1984) para as gahnitas dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos

A Figura 8.39 mostra o nível de evolução geoquímica das gahnitas estudadas, a partir do diagrama ternário Zn-Fe-Mg onde observa-se que as gahnitas do pegmatito Quintos têm

um conteúdo maior do componente espinélio (Sp) que as gahnitas do pegmatito Capoeira 2. As gahnitas destes pegmatitos têm conteúdo de Zn que variam entre 7,14 e 7,46apfu, valores considerados altos, visto que o sítio A, quando calculado para 32 (O), comporta 8apfu.

Investigando o comportamento de Zn, Fe e Mg na estrutura dos espinélios e a relação molar destes elementos com o elemento comum (Al), Betchelor & Kinnaird (1984) propuseram o diagrama $(Fe+Mg)/Al$ versus $(Zn+Mn)/Al$, mostrando a extensão de substituições diadógicas nestes minerais. Os dados químicos das gahnitas dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos foram plotados no diagrama $(Fe+Mg)/Al$ versus $(Zn+Mn)/Al$, conforme Figura 8.40, mostrado a seguir:

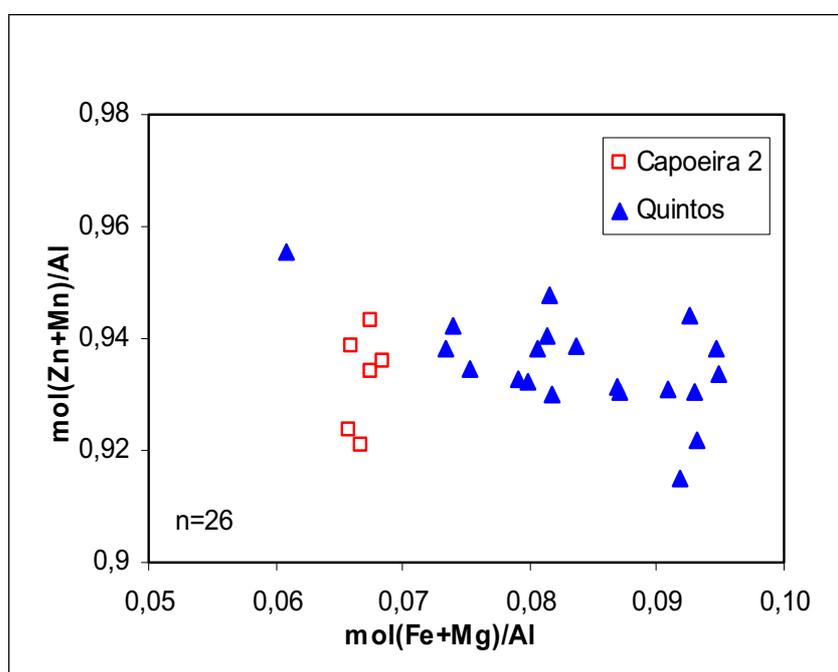


Figura 8.40 – Diagrama $(Fe+Mg)/Al$ versus $(Zn+Mn)/Al$ (Betchelor & Kinnaird, 1984) para as gahnitas dos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos. n = número de análises. Fe = Fe total

Para as gahnitas do pegmatito Quintos tem-se uma razoável correlação negativa, implicando que o aumento da relação $(Zn+Mn)/Al$ corresponde a uma diminuição da relação $(Fe+Mg)/Al$, fato comum em gahnitas de pegmatito, segundo os autores citados. Para as gahnitas do pegmatito Capoeira 2 observa-se um comportamento distinto: praticamente não há variação, pois elas formam um *trend* praticamente vertical. De um modo geral as gahnitas estudadas inserem-se no campo de gahnitas de origem ígnea de Betchelor & Kinnaird (1984) e indicando um alto grau de diferenciação.

CAPÍTULO IX- CONCLUSÕES

Neste capítulo serão resumidos, ressaltados e interpretados alguns dos resultados obtidos e expostos em detalhe nos capítulos anteriores, que possam ser considerados inéditos ou relevantes como informações ou interpretações inovadoras e que possam contribuir para um melhor entendimento da origem e das etapas de evolução da cristalização de pegmatitos da Província Pegmatítica da Borborema, e principalmente para o entendimento das diferenças entre os diferentes tipos de pegmatitos e de mineralização.

Em termos de resultados de campo, ressaltam-se as diferenças mineralógicas e estruturais observadas entre os pegmatitos estudados, embora eles se encontrem em uma área relativamente restrita, e encaixados em quartzitos e metaconglomerados da Formação Equador. Assim, ressaltam-se a ausência de uma zona de contato no pegmatito Boqueirão, contrastando com contatos ricos em dravita nos pegmatitos Capoeira e Quintos e a presença de apófises de albita no pegmatito Capoeira 2.

Cristais tabulares de espodumênio com raiz na zona III e crescendo desta zona para o interior do núcleo de quartzo, observados nos pegmatitos Boqueirão e Capoeira 2, é uma feição comum em pegmatitos. Na literatura internacional os autores citam estes espodumênios como de origem primária. Observou-se também a presença de cristais idiomórficos e cônicos de dravita, formando estruturas em pente ou rosetas, apresentando terminação geralmente pinacoidal voltada para o interior do pegmatito e crescendo tanto da zona I para a zona II como do limite da zona II para a zona de albita no pegmatito Capoeira 2. A mesma feição também se observa no pegmatito Quintos, onde ocorrem rosetas de elbaítas crescendo a partir de uma massa de albita da zona III em direção a bolsões de quartzo da parte central do corpo. Feições idênticas ocorrem, repetidas ritmicamente, no limite das zonas II e III do pegmatito Boqueirão. Do mesmo modo que o espodumênio, estas turmalinas podem ser interpretadas como primárias, não sendo portanto originárias de corpos de substituição.

No pegmatito Capoeira 2 ocorrem apófises de dimensões variadas, formadas predominantemente por albita, invadindo a encaixante a partir de vênulas ligadas à zona de albita do corpo principal do pegmatito em um processo típico de preenchimento de fraturas, conforme citado por Cameron *et al.* (1949). Isto sugere, associado a outras observações de campo, que os pegmatitos Capoeira 2 e Capoeira 3 podem, da mesma forma, terem sido gerados a partir do pegmatito Capoeira 1, menos fracionado, através de mecanismo de preenchimento de fraturas, onde um magma mais fracionado migrou através de fraturas do pegmatito já existente até a encaixante, formando aí novos corpos, menores e mais diferenciados. Isto pode explicar as grandes variações mineralógicas e a forma de

estruturização de pegmatitos ocorrendo lado a lado, como é o caso dos pegmatitos Capoeira. É uma prova também de que corpos formados por albita, quartzo e elbaíta nem sempre são de “substituição”, mas podem resultar da cristalização primária de um magma residual tardio à cristalização das zonas I e II, a exemplo do que London (1992) admite até mesmo para a formação do próprio núcleo de quartzo, em alternativa à idéia de sua cristalização hidrotermal, mais defendida por outros autores.

Os pegmatitos Capoeira formam um grupo de corpos situados muito próximos entre si (menos de 100m), encaixados em metaconglomerado da Formação Equador, porém apresentam paragénese e estrutura diferentes. O pegmatito Capoeira 1 é distinto dos pegmatitos Capoeira 2 e 3, conforme descrito a seguir:

- 1 – A presença de quantidades razoáveis de trifilita, triplita, triploidita, amblygonita, apatita, litiofilita, além de eosforita e crandallita no pegmatito Capoeira 1 indicam alta atividade de P na fusão pegmatítica. Nos outros pegmatitos Capoeira (2 e 3) os fosfatos foram observados em quantidades muito reduzidas nos trabalhos de exploração subterrânea recentes.
- 2 – Ocorrem ainda no pegmatito Capoeira 1 berilo (verde leitoso e morganita), galena e hessita, não observados nos pegmatitos Capoeira 2 e 3.
- 3 – No pegmatito Capoeira 1 ocorrem corpos de substituição (de até 3m), localizados principalmente na zona III e nos limites desta com o núcleo. Esta feição estrutural comum em pegmatitos da região não ocorre nos outros pegmatitos Capoeira.
- 4 – O pegmatito Capoeira 1 é o único destes corpos que não produziu elbaítas.
- 5 – A quantidade de turmalina negra nos pegmatitos Capoeira 2 e 3 é significativamente maior que no pegmatito Capoeira 1, tanto na zona I, como na transição da zona II com a zona III.

Foram encontradas nestes pegmatitos estudados algumas espécies minerais não citadas anteriormente na literatura como ocorrendo nos pegmatitos da PPB, tais como Ti-xiolita, fersmita, brannerita, ruthefordita, wittichenita, Cs-Bi-tantita. A presença de mangano-columbita e nióbio-tantalatos exóticos, notadamente no pegmatito Quintos, onde ocorrem, inclusive precocemente, vem sugerir que estes pegmatitos têm alto grau de fracionamento (Černý & Ercit, 1985).

Estudos de inclusões fluidas realizados em diversas fases minerais dos pegmatitos estudados, apoiados e integrados com outros resultados fornecidos por Beurlen e seus colaboradores em diversos trabalhos, permitem concluir que:

- a) As inclusões fluidas dos pegmatitos da PPB têm salinidades variando entre baixa a moderada;
- b) A precocidade de inclusões fluidas aquocarbônicas em relação às aquosas em cristais zonados de quartzo e a sua ocorrência como inclusões primárias em minerais das zonas I e II, indicam uma saturação do magma pegmatítico em H₂O e CO₂ no início da

cristalização, diferentemente de outros pegmatitos citados na literatura, onde a cristalização se inicia com fluidos aquosos, com posterior imiscibilidade de fluidos aquocarbônicos;

c) A análise por microespectrometria Raman da fase carbônica das inclusões fluidas revela a ausência quase completa de CH_4 e de outras fases voláteis tais como H_2S , CO , C_2H_6 . A composição da fase carbônica é predominantemente formada por CO_2 , com N_2 subordinado;

d) Relações N_2/CO_2 observadas nestas inclusões, variando entre 1/5 e 1/70, mais altos que valores encontrados, por exemplo, por Thomas & Spooner, 1992, (menores que 1/140) e a ausência de metano (CH_4), sugerem a assimilação de parte dos fluidos das encaixantes e são indicativos de alta fugacidade de oxigênio no fluido.

e) Isócoras calculadas a partir de dados microtermométricos de IF aquocarbônicas precoces (do tipo A e B), associados à estabilidade do espodumênio primário (estável em vez da petalita) nestes pegmatitos estudados e de IF aquosas em quartzo e euclásio (estável em vez do berilo, a partir do estágio de formação dos corpos de substituição) no pegmatito de Mamões, segundo Beurlen *et al.* (2002) permitiram estimar as condições P-T de cristalização dos pegmatitos no intervalo 580-400°C e 3,8kbar em condições isobáricas, correspondendo à cristalização da zona I até o início da formação de corpos de substituição.

f) Enquanto nos pegmatitos Boqueirão, Capoeira 1 e Mamões (Beurlen *et al.*, 2001) foi sistematicamente observada a presença de fluidos do tipo A e B em núcleos de cristais de quartzo das zonas II e III, no pegmatito Quintos estes tipos de IF se restringem a quartzo da própria zona I (zona de contato) do pegmatito. Isto pode sugerir que as zonas II e III do pegmatito Quintos teriam se cristalizado a partir de um magma já mais fracionado que o dos outros pegmatitos, corroborando com as informações obtidas pela química mineral.

Os pegmatitos estudados se distinguem por apresentarem diferentes graus de fracionamento geoquímico, atestados pela mineralogia e pela química mineral, descrita a seguir.

Os elementos Rb e Cs ocorrem em pequenas a médias concentrações nestes pegmatitos, atestado pelo seu conteúdo em micas e feldspatos, não chegando a formar fases minerais próprias, mas são incorporados em feldspatos e outras fases minerais como berilo (principalmente morganita) e micas. Em contraste, o Li é o principal constituinte do espodumênio e ainda se concentra como elemento maior em outras fases minerais como elbaíta, litiofilita, amblygonita, lepidolita e trifilita. Isto sugere que o magma gerador destes pegmatitos é enriquecido em Li.

Relações de elementos traços analisados nas micas (zonas I, II, corpo de substituição, zona de albita), plotados em diagramas tais como K/Rb versus Rb , K/Rb versus Ba , K/Rb versus Zn , K/Rb versus Ga e Al/Ga versus Ga , indicam alto grau de fracionamento para esses pegmatitos.

É possível que a presença freqüente de inclusões nas micas (principalmente turmalina, zircão, gahnita, apatita) influenciem nos resultados, por mais cuidadosa que seja a catação dos grãos. Efeitos deste tipo poderiam ser controlados pela utilização de análises por “laser ablation”, comparando estes resultados com as análises convencionais por fluorescência de raios-X.

Estudos de química mineral em feldspatos (zona I, II, III, corpo de substituição, zona de albita), do mesmo modo que nas muscovitas, mostra que os pegmatitos estudados têm alto grau de fracionamento, atestado pelas relações K/Rb, Al/Ga, Rb/Sr e conteúdos elevados de elementos como Rb e Cs. Estes resultados confirmam que o pegmatito Quintos é o mais diferenciado dos pegmatitos estudados.

Na dravita a relação Fe/ (Fe+Mg) varia de 0,36 a 0,48 no pegmatito Capoeira 2, de 0,37 a 0,44 no pegmatito Capoeira 3 e de 0,30 a 0,36 no pegmatito Quintos, mostrando que a dravita do pegmatito Quintos tem um conteúdo maior da molécula de dravita que as demais. As turmalinas negras do pegmatito Boqueirão, que ocorrem na zona II, são schorlitas, com relações Fe/(Fe+Mg) de 0,62 a 0,63. No pegmatito Capoeira 1 as turmalinas negras passam de dravitas na zona I para schorlitas na zona II e nos corpos de substituição mostrando um aumento do conteúdo do componente schorlita ao longo do processo de cristalização, com relações Fe/(Fe+Mg) de 0,35 a 0,46 na zona I, 0,54 na zona II e 0,73 a 0,75 nos corpos de substituição.

As elbaítas têm conteúdo de F variando entre 0 a 0,87apfu, com algumas tendo conteúdo de F maior que 0,5apfu sendo classificadas como F-elbaítas. O conteúdo de F nas turmalinas aumenta da zona de bordo para o núcleo dos pegmatitos, atestando o incremento da atividade de F ao longo da cristalização destes pegmatitos. As elbaítas azul turquesa (turmalina Paraíba) do pegmatito Capoeira 2, via de regra não são F-elbaítas. As elbaítas de cor azul turquesa que ocorrem nos pegmatitos Quintos e Capoeira 2 são ricas em Cu e Al(Y) com alta vacância no sítio estrutural X, geradas principalmente a partir de substituições do tipo “deficiência em álcalis”. As elbaítas do pegmatito Boqueirão têm comparativamente baixo conteúdo de Cu e de Al (Y) e baixa vacância no sítio estrutural X, em relação às elbaítas dos outros pegmatitos estudados. De acordo com Manning (1982) o aumento da vacância em X indica temperatura de cristalização mais baixa para as turmalinas. De um modo geral, a vacância das turmalinas estudadas aumenta da zona de bordo para as turmalinas das partes interiores, corroborando com as idéias de Manning (op. cit.).

Enquanto as variações nos teores de Fe e Mg das turmalinas e a própria presença ou quantidade das mesmas nas zonas I e II possam ser reflexo de uma maior ou menor assimilação e/ou disponibilidade destes elementos nas rochas encaixantes, as variações de Al (Y), de vacância em X nas elbaítas das zonas III, zona de albita e corpos de substituição

refletem claramente variados graus de fracionamento alcançados pelos pegmatitos estudados. O estudo da química mineral da turmalina, mais uma vez, comprova um maior grau de evolução geoquímica alcançado pelos pegmatitos Quintos e Capoeira 2 em relação aos demais pegmatitos estudados.

São comuns evoluções composicionais de turmalinas em pegmatitos dadas por schorlita-elbaíta, dravita-schorlita ou elbaíta-liddicoatita (Dietrich, 1985; Jolliff *et al.*, 1986, César Mendes, 1995, Keller *et al.*, 1999, entre outros). A evolução composicional dada por dravita-elbaíta encontrada neste trabalho nos pegmatitos Capoeira 2 e Quintos é incomum, não sendo citada na literatura. Os diferentes *trends* de evolução composicional encontrados para turmalinas nos pegmatitos estudados sugerem que estes corpos tiveram *trends* de evoluções geoquímicas distintas. Os pegmatitos onde a sequência evolutiva das turmalinas é dada por dravita-elbaíta são os mais diferenciados e hospedeiros das elbaítas “azul turquesa”.

De um modo geral a granada estudada (zonas I, II, corpo de substituição e zona de albita) não apresentam grandes variações composicionais entre as diferentes zonas dos pegmatitos, ao contrário do que ocorre em granadas de diversas localidades do mundo. Os valores médios de molécula de espessartita variam entre 56,1 mol% no pegmatito Boqueirão a 88,1 mol% no pegmatito Quintos. Relações Mn/(Mn+Fe) variam entre 0,66 no pegmatito Boqueirão a 0,88 no pegmatito Quintos. Nos diagramas (CaO+MnO) *versus* (FeO+MgO) e FeO-MgO-MnO evidencia-se um maior fracionamento das granadas do pegmatito Quintos.

Estudos de química mineral em gahnita, que ocorre nos pegmatitos Capoeira 2 (zona II) e Quintos (parte central), mostram que estes pegmatitos têm alto nível de fracionamento, atestado pela alta relação Zn/Fe (13,7 a 14,2) e alto conteúdo do componente gahnita (Gh = 83,3 a 92,1 mol%), comparado a outros pegmatitos citados na literatura. Novamente estes resultados confirmam o alto grau de fracionamento destes pegmatitos.

O estudo geoquímico de granadas e de turmalinas, pelas características de acessórios quase sempre presentes em percentuais consideráveis em várias unidades dos pegmatitos e pela sua maior resistência ao intemperismo, prometem se tornar indicadores petrogenéticos de maior eficiência para a definição do grau de evolução dos pegmatitos graníticos do que micas e feldspatos.

De um modo geral, o grau de evolução geoquímica alcançado pelos pegmatitos atestado pelos estudos de química mineral realizado em micas, feldspatos, turmalinas, granadas, nióbio-tantalatos e gahnita e também pela mineralogia acessória, segue a seguinte seqüência, do menos para o mais evoluído: pegmatito Boqueirão – Pegmatito Capoeira 1 - pegmatito Capoeira 2 – pegmatito Quintos. Ainda não é possível situar o pegmatito Capoeira 3 nesta relação devido a deficiência de dados. É importante observar

que os pegmatitos Capoeira 2 e Quintos, produtores de "turmalina Paraíba" são os mais fracionados entre os pegmatitos estudados.

O pegmatito Quintos, de acordo com os dados de química mineral é o mais evoluído dos pegmatitos estudados e pode ter se formado a partir de um magma residual, produto da diferenciação de algum corpo maior e menos fracionado (tipo Boqueirão ou Capoeira 1), em profundidade, a exemplo da apófise observada no pegmatito Capoeira 2. Outra explicação para a variação dos graus de evolução entre os pegmatitos estudados seria alternativamente a origem de fontes graníticas distintas, ou a mesma fonte em diferentes estágios de diferenciação do magma.

Os pegmatitos estudados podem ser classificados, preliminarmente, de acordo com Černý & Burt (1984), como tipo complexo, subtipo lepidolita e de acordo com Černý (1991a), como inseridos na família LCT, tendo em vista:

- (a) A natureza peraluminosa de sua mineralogia, típica de pegmatitos LCT: granada (com alto conteúdo de espessartita), turmalinas, muscovita, gahnita.
- (b) O enriquecimento em Be, Li, Ta-Nb, atestado pela presença de elbaíta, espodumênio, berilo (verde, azul e morganita) e nióbio-tantalatos tais como microlitas, cesstibantita, entre outros.
- (c) A ausência total de minerais típicos de pegmatitos da família NYF, tais como biotita, allanita, gadolinita, fergusonita.
- (d) A química mineral de muscovita, feldspatos e outras fases minerais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A

- Abella, M.P.A., 1995. Aproximacion a la petrogenesis de las pegmatitas del Cap de Creus. Tese de Doutorado. Universidade de Barcelona. Barcelona, 388p.
- Adusumilli, M.S., 1970. Minerais de estanho do pegmatito Seridósinho, Paraíba. XXIV Congresso Brasileiro de Geologia. Brasília, p.237-243.
- Adusumilli, M.S., 1976. Contribuição à mineralogia dos niobo-tantalatos da Província Pegmatítica Nordestina. Tese para Livre Docência em Mineralogia. UFMG. Brasília, 212p.
- Adusumilli, M.S., 2001. Mineralogia de turmalinas gemas do pegmatito Capoeira, Parelhas, RN. XIX Simpósio de Geologia do Nordeste. Natal, p.270-271.
- Adusumilli, M.S.; Castro, C. & Bhaskara Rao, A., 1994. Blue and green gem tourmalines from Gregório pegmatite, Rio Grande do Norte State, Brazil. In: 16th General Meeting, International Mineralogical Association. Pisa, Italy, p. 01-13.
- Adusumilli, M.S.; Kieft, C. & Burke, E.A.J., 1974. Tantal-aeschynite, a new mineral of the aeschnite group from the Borborema region, north-eastern Brazil. *Mineralogical Magazine*, 39:571-576.
- Agrawal, V.N., 1992. Relations between pegmatite emplacements and tectono-metamorphic events in the Seridó Group, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 22:43-46.
- Alfonso, P.; Melgarejo, J.C.; Yusta, I. & Velasco, F., 2003. Geochemistry of feldspars and muscovite in granitic pegmatite from Cap de Creus field, Catalonia, Spain. *The Canadian Mineralogist*, 41:103-116.
- Almeida, F.F.M.; Hasui, Y.; Brito Neves, B.B. & Fuck, R., 1977. Províncias estruturais brasileiras. VIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Campina Grande, p.363-391.
- Almeida, F.F.M.; Leonardos, O.H. & Valença, J., 1967. Review on granitics rocks of Northeast South América. IUGS/UNESCO, 41p.
- Almeida, F.F.M.; Melcher, G.C.; Cordani, U.G.; Kawashita, K. & Vandoros, P., 1968. Radiometric age determination from Northern Brazil. *Boletim da Sociedade Brasileira de Geologia*, 17:3-15.
- Araújo, M.N.C.; Alves da Silva, F.C. & Jardim de Sá, E.F., 1998. Pegmatitos da Faixa Seridó: marcadores da movimentação tardia das transcorrências Brasilianas. XL Congresso Brasileiro de Geologia. Belo Horizonte, p.42
- Araújo, M.N.C.; Alves da Silva, F.C. & Jardim de Sá, E.F., 2001. Pegmatite emplacement in the Seridó Belt, northeastern Brazil: late stage kinematics of the Brasiliano orogen. *Gondwana Research*, 4:75-85.
- Archanjo, C.J., 1987. Organização petroestrutural do segmento sul da Faixa Seridó, a leste da cidade de Santa Luzia – PB. Dissertação de Mestrado, UFPE. Recife, 129p.
- Archanjo, C.J., 1995. Alojamento de plútons graníticos e a deformação crustal Brasiliana na Faixa Seridó (NE do Brasil). XVI Simpósio de Geologia do Nordeste. Recife, p. 399-400.
- Archanjo, C.J. & Salim, J., 1986. Posição da Formação Seridó no contexto estratigráfico regional (RN-PB). XII Simpósio de Geologia do Nordeste. João Pessoa, p.270-280.
- Archanjo, C.J.; Oliver, P. & Bouchez, J.L., 1992. Plutons granitiques du Seridó (NE Brésil): écoulement magmatique parallèle à la chaîne revele par leur anisotropie magnétique. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 4:637-647.
- Arranz Yagüe, E.; Lago San Jose, M. & Vaquer Navarro, R., 1995. Composición e implicaciones genéticas de las turmalinas de granitoides y rocas filonianas de la Unidad de Aneto, Pluton de la Maladeta (Huesca). *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 18:73-82.

- Arredondo, E.H.; Rossman, G.R. & Lumpkin, G.R., 2001. Hydrogen in spessartine-almundine garnets as a tracer of granitic pegmatite evolution. *The American Mineralogist*, 86:485-490.
- Atêncio, D., 2002. Roscherite-group minerals from Brazil. 18th General Meeting of the International Mineralogical Association. Program with Abstract, p.133.

B

- Baldwin, J.R. & Von Knorring, O.V., 1983. Compositional range of Mn-garnet in zoned granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, 21:683-688.
- Barreto, S.B., 1999. Caracterização química, ótica e estrutural das turmalinas gemológicas dos pegmatitos Capoeiras, Quintos, Bulandeira e Batalha, Província Pegmatítica da Borborema – Nordeste do Brasil. Tese de Doutorado. Universidade de Barcelona. Barcelona, 563p.
- Barton, M., 1986. Phase equilibria and thermodynamic properties of minerals in the BeO-Al₂O₃-SiO₂-H₂O (BASH) system with petrologic applications. *The American Mineralogist*, 71:277-300.
- Batchelor, R.A. & Kinnaird, J.A., 1984. Gahnite compositions compared. *Mineralogical Magazine*, 48:425-429.
- Beugnies, A. & Mozafari, C., 1968. contribution a l'etude des propriétés des columbotantalites et des tapiolites. *Annales de la Société Géologique de Belgique*, 91:35-91.
- Beurlen, H., Da Silva, M.R.R., Hounie, J. Schneider, A.C. & Castro, C., 1997. Inclusões fluidas em pegmatitos da Província Pegmatítica da Borborema: resultados preliminares. XVII Simpósio de Geologia do Nordeste, Fortaleza. p.420-423.
- Beurlen, H., Da Silva, M.R.R. & Castro, C., 1998. Fluid inclusion microthermometry in Be-Ta-(Li-Sn) bearing pegmatites from the Borborema Province, Northeastern Brazil. VII PACROFI, Las Vegas. P.15.
- Beurlen, H., Da Silva, M.R.R. & Castro, C., 2000. Fluid origin and evolution during the formation of rare-element pegmatites from Borborema Province, Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(2):331-336.
- Beurlen, H.; Da Silva, M.R.R. & Castro, C., 2001a. Fluid inclusion microthermometry in Be-Ta-(Li-Sn)-bearing pegmatites from the Borborema Province, Northeast Brazil. *Chemical Geology*, 173:107-123.
- Beurlen, H.; Da Silva, M.R.R. & Jutz, D., 2002. Química mineral de amostras selecionadas de tantalatos na Província Pegmatítica da Borborema – Nordeste do Brasil. XLI Congresso Brasileiro de Geologia. João Pessoa, p.589.
- Beurlen, H.; Soares, D.R.; Borges, L.E.P.; Léo, H.S.V. & Da Silva, M.R.R., 2003a. Análise de mecanismos de substituição em tantalato exótico: provável titano-ixiolita na Província Pegmatítica da Borborema. *Revista de Geologia da UFC*, 16(2):7-18.
- Beurlen, H.; Soares, D.R.; Da Silva, M.R.R. & Silva, D., 2001b. Inclusões fluidas em cristais de quartzo zonados registrando a evolução e origem dos voláteis em magma pegmatítico da Província Pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil. *Estudos Geológicos (UFPE)*, 11:124-138.
- Beurlen, H.; Soares, D.R.; Thomas, R.; Borges, L.E.P. & Castro, C., 2004. Mineral chemistry of tantalate species new in the Borborema Pegmatitic Province, Northeast Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências (no prelo)*.
- Beurlen, H.; Thomas, R.; Barreto, S.B. & Da Silva, M.R.R., 2003b. Nova ocorrência de ferrowodginita em associação com cassiterita, strüverita e tapiolita na Província Pegmatítica da Borborema, Nordeste do Brasil. *Estudos Geológicos (UFPE)*, 13:35-45.
- Beus, A.A., 1960. Geochemistry of berillium and genetic types of beryllium deposits (Tradução para o ingles em 1966, por F. Lachman). W.H. Freeman and Company. London, 401p.
- Bezerra, M.S.; Carvalho, V.G.D. & Nesi, J.R., 1994. Caracterização e mercado de minerais de pegmatitos da Borborema. CPRM. Recife, 50p., mais anexos.
- Bhaskara Rao, A. & Adusumilli, M.S., 1965. Bismoclite from Brazil. *The Canadian Mineralogist*, 8:390-391.

- Bhaskara Rao, A. & Adusumilli, M.S., 1966a. Leucophosphite and barbosalite from north-east Brazil. *Mineralogical Magazine*, 35:784-785.
- Bhaskara Rao, A. & Adusumilli, M.S., 1966b. Bismuth minerals from Borborema region, Brazil. *Mineralogical Magazine*, 35:785-787.
- Bhaskara Rao, A. & Castro, C., 2001. Geological and genetic aspects of the São José da Batalha Paraíba tourmaline deposit, Brazil. XIX Simpósio de Geologia do Nordeste. Natal, p.206-207.
- Bhaskara Rao, A. & Nayak, V.K., 1965. Mineragraphic study of vein minerals from the Boqueirão pegmatite, Rio Grande do Norte. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 37:257-262.
- Bodnar, R.J., 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 57:683-684.
- Borisenok, L.A. & Ryabchikov, I.D., 1962. Gallium in the minerals of the mica pegmatites of the Tedino Deposit. *Geochemistry*, 1:68-73.
- Brisbin, W.C., 1986. Mechanics of pegmatite intrusions. *The American Mineralogy*, 71:644-651.
- Bowers, T.S. & Helgesson, H.C., 1983. Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system H₂O-CO₂-NaCl on phase relation in the geologic system: equation of state for H₂O-CO₂-NaCl in high pressures and temperatures. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47:1247-1275.
- Brito Neves, B.B., 1975. Regionalização geotectônica do Precambriano Nordeste. Tese de Doutorado, USP. São Paulo, 198p.
- Brito Neves, B.B., 1983. O mapa geológico do Nordeste Oriental do Brasil – escala 1/1.000.000. Tese de Livre Docência, USP. São Paulo, 177p.
- Brito Neves, B.B.; Santos, E.J. & Van Schmus, W.R., 2000. Tectonic history of the Borborema Province, northeastern Brazil. In: *Evolution of South America* (Ed. U.G. Cordani, E.J. Milani, A. Tomaz Filho, D.A. Campos). XXXI International Geological Congress. Rio de Janeiro, p.151-182.
- Brito Neves, B.B.; Van Schmus, W.R.; Santos, E.J.; Campos Neto, M.C. & Kozuch, M., 1995. O evento Cariris Velhos na Província Borborema: integração de dados, implicações e perspectivas. *Revista Brasileira de Geociências*, 25:279-296.
- Brown, C., 1999. Mineralogy of NYF granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, 37:848-849.
- Brown, P.E. & Hagemann, S.G., 1994. MaC Flincor, a computer program for fluid inclusion data reduction and manipulation.. Short Course of the working group (IMA) "Inclusions in Minerals" (ed. De Vivo, B & Frezzotti, M.L.). Pontignano-Siena, p.231-250.
- Brown, P.E. & Lamb, W.M., 1989. P-V-T properties of fluids in the system H₂O-CO₂-NaCl: new graphical presentation and implications for fluid inclusion studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53:1209-1221.
- Burke, E.A.J., 1994. Raman microspectrometry of fluid inclusions: the daily practice. In: *Fluid Inclusions in Minerals: Methods and Applications – IMA* (ed. B de Vivo & M.L. Frezzotti). p.25-44.
- Burnham, C.W. & Nekvasil, H., 1986. Equilibrium properties of granite pegmatite magmas. *The American Mineralogist*, 71:239-263.

C

- Caby, R.; Arthaud, M.H. & Archanjo, C.J., 1995. Lithostratigraphy and petrostructural characterization of supracrustal units in the Brasileiro Belt in Northeast Brazil: geodynamic implications. *Journal of South America Earth Sciences*, 8(3/4):235-246.
- Cameron, E.N.; Jahns, R.H.; McNair, A.H. & Page, L.R., 1949. Internal structure of granitic pegmatites. *Economic Geology (Monography, 2)*. 115p.
- Cameron, E.N.; Rowe, R.B. & Weis, P.L., 1951. Fluid inclusion in beryl and quartz from pegmatites of the Middletown district, Connecticut. *The American Mineralogist*, 36:906-910.

- Cassedanne, J.P., 1990. La paragénesse a or-cuivre-bismuth de la pegmatite du Alto da Figueira (Frei Martinho – Paraíba). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 62(2):135-143.
- Cassedanne, J.P., 1995. Le gite de tourmaline noire (dravite) de Serra Branca, Etat de Paraíba, Brésil. *Minéraux et Fossiles*, 21:6-10.
- Černý, P. 1982a. Anatomy and classification of granitic pegmatites. In: *Granitic Pegmatitic in Science and Industry* (ed. P. Cerny). Mineralogical Association of Canada. Short Course Handbook, 8:1-39.
- Černý, P., 1982b. The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Southern Manitoba. In: *Granitic Pegmatitic in Science and Industry* (ed. P. Cerny). Mineralogical Association of Canada. Short Course Handbook, 8:527-543.
- Černý, P., 1989a. Characteristics of pegmatite deposits of tantalum. In: *Lantanides, Tantalum and Niobium* (ed. P. Möller; P. Cerny & F. Saupé). SGA, Special Publication, 7. Springer Verlag, p. 195-236.
- Černý, P., 1989b. Exploration strategy and methods for pegmatite deposits of tantalum. In: *Lantanides, Tantalum and Niobium* (ed. P. Möller; P. Cerny & F. Saupé). SGA, Special Publication, 7. Springer Verlag, p. 274-302.
- Černý, P., 1991a. Rare-element granitic pegmatites. Part I: Anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. *Geoscience Canada*, 18:49-67.
- Černý, P., 1991b. Rare-element granitic pegmatites. Part II: Regional to global environments and petrogenesis. *Geoscience Canada*, 18:68-81.
- Černý, P. & Burt, D.M., 1984. Paragenesis, crystallochemical characteristics and geochemical evolution of micas in granitic pegmatites. In: *Micas* (ed. S.M. Bailey). Mineralogical Society of America. *Reviews in Mineralogy*, 13:257-297.
- Černý, P. & Ercit, T.S., 1985. Some recent advances in the mineralogy and geochemistry of Nb and Ta in rare-element granitic pegmatites. *Bulletin de Minéralogie*, 108:499-532.
- Černý, P. & Ercit, T.S., 1989. Mineralogy of niobium and tantalum: crystal chemical relationships, paragenetic aspects and their economic implications. In: *Lantanides, Tantalum and Niobium* (ed. P. Möller; P. Cerny & F. Saupé). SGA, Special Publication, 7. Springer Verlag, p. 27-79.
- Černý, P.; Ercit, T.S. & Wise, M.A., 1992. The tantalite-tapiolite gap: natural assemblages versus experimental data. *The Canadian Mineralogist*, 30:587-596.
- Černý, P.; Ercit, T.S.; Wise, M.A.; Chapman, R. & Buck, H.M., 1998. Compositional, structural and phase relationship in titanian ixiolite and titanian columbite-tantalite. *The Canadian Mineralogist*, 36:547-562.
- Černý, P.; Goad, B.E.; Hawthorne, F.C. & Chapman, R., 1986. Fractionation trends of the Nb- and Ta-bearing oxides minerals in the Greer Lake pegmatites granites and its pegmatites aureole, southeastern Manitoba. *The American Mineralogist*, 71:501-517.
- Černý, P. & Hawthorne, F.C., 1982. Selected peraluminous minerals. In: *Granitic Pegmatites in Science and Industry* (Ed. P. Cerny). Mineralogical Association of Canada (Short Course), 8:163-186.
- Černý, P.; Meintzer, R.E., 1988. Fertile granites in the Archean and Proterozoic fields of rare-element pegmatites: crustal environments, geochemistry and petrogenetic relationship. In: *Recent Advances in the Geology of Granite-related Mineral deposits* (ed. R.P. Taylor & D.F. Strong). Canadian Institute of Mining and Metallurgy, Special Volume, 39:170-207.
- Černý, P.; Meintzer, R.E. & Anderson, A.J., 1985. Extreme fractionation in rare-element granitic pegmatites: selected examples of data and mechanisms. *The Canadian Mineralogist*, 23:381-421.
- César Mendes, J., 1995. Mineralogia e gênese de pegmatitos turmaliníferos da Mina do Cruzeiro, São José da Safira, Minas Gerais. Tese de Doutorado, USP. São Paulo, 260p.

- Correia Neves, J.M. 1990. Interpretação metalogenética da geoquímica de feldspatos e micas em pegmatitos do Alto-Ligonha (Moçambique). XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia. Natal, p.1281-1293.
- Correia Neves, J.M., 1981. Pegmatitos graníticos: morfologia, mineralogia, geoquímica, gênese e metalogênese. Tese apresentada em Concurso para Professor Titular da UFMG. 262p. (inédito).
- Crouse, R.A. & Černý, P., 1972. The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. I. Geology and paragenesis. *The Canadian Mineralogist*, 11:591-608.
- Cunha e Silva, J., 1981. Formação polimetálica da região da Borborema, Estados do Rio Grande do Norte e Paraíba. CPRM (circulação restrita). Recife, 37p.

D

- Da Silva, M.R.R., 1982. Petrologia e geoquímica de pegmatitos da região de Picuí-Pedra Lavrada (PB). Dissertação de Mestrado, UFPE. Recife, 160p.
- Da Silva, M.R.R., 1993. Petrographical and geochemical investigations of pegmatites in the Borborema Pegmatitic Province of Northeastern Brazil. Tese de Doutorado. Ludwig-Maximilians-Universität, München. 305p.
- Da Silva, M.R.R. & Beurlen, H., 1997. Interação química pegmatito /rocha encaixante na Província Pegmatítica da Borborema. VI Congresso Brasileiro de Geoquímica. Salvador, p. 433-437.
- Da Silva, M.R.R. & Guimarães, I.P., 1992. Caracterização geoquímica da granitogênese Brasileira na Província Pegmatítica da Borborema. XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, p.38-40.
- Da Silva, M.R.R. & Dantas, J.R.A., 1984. A Província Pegmatítica da Borborema-Seridó, nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte. In:Principais Depósitos Minerais do Nordeste Oriental. DNPM (Séria Geologia, Seção Geologia Econômica, 4). Brasília, p.235-304.
- Deer, W.A.; Howie, R.A. & Zussman, J., 1981. Minerais Constituintes das Rochas – Uma Introdução. Fundação Calouste Gulbenkian. Lisboa, 558p.
- Diamond, L.W., 1992. Stability of CO₂ clathrate hydrate + CO₂ liquid + CO₂ vapor + aqueous KCl-NaCl solutions: Experimental determination and application to salinity estimates of fluid inclusions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56:273-280.
- Dietrich, R.V., 1985. The tourmaline Group. Van Nostrand Reinhold. New York, 300p.
- Dietvorst, E.J.L., 1980. Biotite breakdown and the formation the gahnite in metapelitic rocks from Kemio, southwest Finland. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 75:327-337.
- Diniz, R.F. & Nesi, J.R., 1990. Sinopse das ocorrências de minerais-gemas do Rio Grande do Norte. XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia. Natal, p. 1414-1424.
- Dowty, E., 1971. Crystal chemistry of titanian and zirconian garnet: I. Review and spectral studies. *The American Mineralogist*, 56:1983-2009.
- Droop, G.T.R., 1987. A general equation for estimating Fe³⁺ concentrations in ferromagnesian silicates and oxides from microprobe analyses, using stoichiometric criteria. *Mineralogical Magazine*, 51:431-435.
- Dubessy, J.; Poty, B. & Ramboz, C., 1989. Advances in C-O-H-N-S fluid geochemistry based on micro-Raman spectrometric analysis of fluid inclusions. *European Journal of Mineralogy*, 1:517-534.

E

- Ebert, H., 1969. Geologia do Alto Seridó (nota explicativa à Folha geológica de Currais Novos). SUDENE (Série Geologia Regional, 11). Recife, 120p.
- Eeckhout, S.G.; Castañeda, C.; Ferreira, A.C.M.; Sabioni, A.C.S.; De Grave, E. & Vasconcelos, C.L., 2002. Spectroscopic studies of spessartine from Brazilian pegmatites. *The American Mineralogist*, 87:1297-1306.
- Ercit, T.S.; Černý, P. & Hawthorne, F.C., 1992a. The wodginite group. III. Classification and new species. *The Canadian Mineralogist*, 30:633-638.

- Ercit, T.S.; Hawthorne, F.C. & Černý, P., 1986. Parabariomicrolite, a new specie, and structural relationship to the pyroclorite group. *The Canadian Mineralogist*, 24:655-663.
- Ercit, T.S.; Hawthorne, F.C. & Černý, P., 1992b. The crystal structure of alumotantite its relation to the structures of simpsonite and the (Al, Ga)(Ta, Nb)O₄ compounds. *The Canadian Mineralogist*, 30:652-662.

F

- Farias, C.C., 1976. Mineralogia do pegmatito "Alto" Boqueirão – Parelhas, RN. Tese Docente-Livre. UFPE. Recife, 119p.
- Ferreira, A.C.M., 1998. Caracterização mineralógica e gemológica das turmalinas do Alto Quixaba – PB. Dissertação de Mestrado. UFPE. Recife, 118p.
- Ferreira, A.C.M.; Soares, D.R.; Ferreira, J.A.M. & Tavares, J.F., 2003. Gahnitas gemas do pegmatito Alto Mirador, Região do Seridó (RN). XX Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza. p. 45.
- Ferreira, C.A. & Santos, E.J., 1998. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil - Caicó (Folha SB.24-Z-B) – Escala 1:250.000 – Geologia e Metalogênese. CPRM. Brasília, 70p.
- Ferreira, J.A.M., 1967. Considerações sobre uma nova estratigrafia do Seridó. *Engenharia, Mineração e Metalurgia*, 45(265):25-28.
- Ferreira, J.A.M., 1997. Gemas raras do Seridó. *Jornal das Pedras*, 10:18-21.
- Ferreira, J.A.M. & Albuquerque, J.P.T., 1969. Sinopse da geologia da Folha Seridó. SUDENE (Série Geologia Regional, 18). Recife, 52p.
- Ferreira, J.A.M. & Tavares, J.F., 1997. Gemas raras do Seridó: o euclásio. *Jornal das Pedras*, 11:24-29.
- Ferreira, V..P.; Sial, A.N. & Jardim de Sá, E.F., 1998. Geochemical and isotope signatures of Proterozoic granitoids in terranes of the Borborema structural province, Northeast Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 11(5):439-455.
- Fersman, A.E., 1931. Les pegmatites leur importance scientifique et pratique. Academia de Ciências da URSS (Traduzido para o francês em 1951 por R. du Trien de Terdonck & Thoureau, Univ. de Louvain, Bélgica). 3 Vols. 675p.
- Foit, F.F., Jr. & Rosenberg, P.E. (1977) Coupled substitutions in tourmaline group. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 62:109-127.
- Foord, E.E., 1977. Famous mineral localities: the Himalaya Dyke System. *The Mineralogical Record*, 8:461-474.
- Fourestier, J. 1998. Glossary of Mineral Synonyms. *The Canadian Mineralogist* (Special Publication, 2). Ottawa, 434p.
- Frederico, M.; Andreozzi, G.B.; Lucchesi, S.; Graziam, G. & César-Mendes, J., 1998. Compositional variation of tourmaline in the granitic pegmatite dikes of the Cruzeiro mine, Minas Gerais, Brazil. *The Canadian Mineralogist*, 36:415-431.
- Fuertes-Fuente, M.; Izard, A.; Boiron, M.C. & Mangas, J., 2000. Fluid evolution of rare-element and muscovite granitic pegmatites from Central Galicia, NW Spain. *Mineralium Deposita*, 35:332-345.
- Fuzikawa, K., 1985. Inclusões fluidas: métodos de estudo e aplicações. In: *Contribuição à Geologia e Petrologia* (Núcleo Minas Gerais – SBGM). p.29-44.

G

- Gallagher, V., 1988. Coupled substitutions in schorl-dravite tourmaline: new evidence from SE Ireland. *Mineralogical Magazine*, 52:637-650.
- Gama, T.J. & Albuquerque, C.A.R., 1985. Petrologia do Grupo Seridó, Currais Novos-Parelhas. *Revista Brasileira de Geociências*, 15:131-138.
- Gieré, R., 1984. Geologie und petrographic des Bergell-Ostrandes. M.S. Thesis, ETH Zurich, Switzerland, 175p.
- Ginzburg, A.I., 1955. Summary of about minerals – geochemical indicators and their significance in prospecting for ores of rare metals in pegmatites. *Economic Geology*, 50:748-750.

- Ginzburg, A.I. 1960. Specific geochemical features of the pegmatitic process. International Geological Congress, 21 st.Copenhagen, Rept. Pt., 17:111-121.
- Ginzburg, A.I.; Timofeyev, I.N. & Feldman, L.G., 1979. Principle of geology of the granitic pegmatites. Nedra, Moscou. 269p. (em russo).
- Glebov, M.P.; Shiryayeva, V.A. & Shmakin, B.M., 1969. Dependence of the composition of garnets in muscovite pegmatites on the conditions of crystallization. *Geochemistry International*, 6(2):316-321.
- Gordienko, V.V., 1971. Concentration of Li, Rb and Cs in potash feldspar and muscovite as criteria for assessing the rare metal mineralization in granite pegmatites. *International Geology Review*, 13:134-142.
- Gorskaya, M.G.; Frank-Kamenetskaya, O.V.; Rozhdestvenskaya, I.V. & Frank-Kamenetskii, V.A., 1982. Refinement of the crystal structure of Al-rich elbaite and some aspects of the crystal chemistry of tourmaline. *Soviet Physics Crystallography*, 27(1):63-66.
- Green, H., 1977. Garnet in silicic liquidus and its possible use as P-T indicator. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 65:59-67.
- Grice, J.D.; Cerny, P. & Ferguson, R.B., 1972. The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. II. Wodginite, tantalite, pseudo-ixiolite and related minerals. *The Canadian Mineralogist*, 11:609-642.

H

- Hackspacher, P.C.; Van Schmus, W.R. & Dantas, E.L., 1990. Um embasamento Transamazônico na Província Borborema. XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia. Natal, p.2683-2696.
- Hanson, S.L.; Simmons, W.B.; Webber, K.L.; Falster, A.U. & Bucholz, T., 1999. Trace element chemistry of micas in "NYF" and "NY" pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, 37:849-852.
- Hawthorne, F.C. & Henry, D.J., 1999. Classification of the minerals of the tourmaline group. *European Journal of Mineralogy*, 11:201-215.
- Henrich, E.W., 1953. Zoning in pegmatite districts. *The American Mineralogist*, 38:68-87.
- Henn, U.; Bank, H.; Bank, F.H.; Von Platen, H. & Hofmeister, W., 1990. Transparent bright blue Cu-bearing tourmalines from Paraíba, Brazil. *Mineralogical Magazine*, 54:553-557.
- Henry, D.J. & Dutrow, B.L., 1990. Ca substitution in li-poor aluminous tourmaline. *The Canadian Mineralogist*, 28:111-124.
- Henry, D.J. & Guidotti, C.V., 1985. Tourmaline as petrogenetic indicator mineral: na example from the staurolite-grade metapelites of NW Maine. *The American Mineralogist*, 70:1-15.

J

- Jafee, H.W., 1951. The role of yttrium and other minor elements in the garnet group. *The American Mineralogist*, 36:133-155.
- Jahns, R.H., 1955. The study of pegmatites. *Economic Geology*, 50th Ann., Part II, p.1025-1130.
- Jahns, R.H. & Burnham, C.W.1969. Experimental studies of pegmatite genesis. I: A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. *Economic Geology*, 64:843-864.
- Jardim de Sá, E.F., 1978. Revisão preliminar sobre a faixa dobrada do Seridó e eventos correlatos no Nordeste. *Revista Ciências – UFRN*, 1(1):77-83.
- Jardim de Sá, E.F., 1984. Geologia da região do Seridó: reavaliação de dados. XI Simpósio de Geologia do Nordeste. Natal, p.278-296.
- Jardim de Sá, E.F., 1994. A Faixa Seridó (Província Borborema, NE do Brasil) e o seu significado geodinâmico na Cadeia Brasileira/Pan-Africana. Tese de Doutorado, UnB. Brasília, 804p.
- Jardim de Sá, E.F.; Legrand, J.M.; Galindo, A.C.; Sá, J.M. & Hackpacher, P.C., 1986. Granitogênese Brasileira no Seridó: o maciço de Acari. *Revista Brasileira de Geociências*, 16:95-105.

- Jardim de Sá, E.F.; Legrand, J.M.; McReath, I.; Salim, J.; Figueiredo, O. A.; Petta, R.A.; Silva, N.B. & Galindo, A.C., 1978. Estratigrafia preliminar de rochas granitóides na região do Seridó (RN-PB). XXX Congresso Brasileiro de Geologia. Boletim 1 (Resumo de Comunicações). Recife, p.310.
- Jardim de Sá, E.F.; Legrand, J.M. & McReath, I., 1981. "Estratigrafia" de rochas granitóides na região do Seridó (RN-PB) com base em critérios estruturais. *Revista Brasileira de Geociências*, 11:50-57.
- Johnston Jr., W.D., 1945a. Os pegmatitos berilo-tantalíferos da Paraíba e Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil. DNPM/DFPM (Boletim 72). Rio de Janeiro, 85p.
- Johnston Jr., W.D., 1945b. Beryl-tantalite pegmatites of northeastern Brazil. *The Geological Society of America - Bulletin*, 56:1015-1070.
- Jolliff, B.L.; Papike, J.J. & Shearer, C.K., 1986. Tourmaline as a record of pegmatite evolution: Bob Ingersoll pegmatite, Black Hills, South Dakota. *The American Mineralogist*, 71:472-500.
- Jolliff, B.L.; Papike, J.J. & Shearer, C.K., 1987. Fractionation trends in mica and tourmaline as indicators of pegmatite internal evolution: Bob Ingersoll pegmatite, Black Hills, South Dakota. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51:519-534.

K

- Keller, P.; Robles, E.R.; Pérez, A.P. & Fontan, F., 1999. Chemistry, paragenesis and significance of tourmaline in pegmatites of the Southern Tin Belt, Central Namibia. *Chemical Geology*, 158:203-225.
- Kleck, W.D. & Foord, E.E., 1999. The chemistry, mineralogy, and petrology of the George Ashley Block pegmatite body. *The American Mineralogist*, 84:695-707.
- Komov, I.L. & Zubkova, Y.I., 1973. Gallium distribution in the quartz of the rock crystal veins. *Geochemistry International*, 10(3):702-708.

L

- Landes, K.K., 1933. Origin and classification of pegmatites. *The American Mineralogist*, 18:33-56/95-103.
- Larsen, R.B., 2002. The distribution of rare-elements in K-feldspar as an indicator of petrogenetic processes in granitic pegmatites: examples from two pegmatites fields in southern Norway. *The Canadian Mineralogist*, 40:137-151.
- Legrand, J.M.; Melo Jr. M. G.; Archanjo, C.J.; Salim, J.; Souza, L.C. & Maia, H.N., 1993. Mineralizações na Faixa Seridó: um processo hidrotermal do fenômeno tectono-magmático Brasileiro. XV Simpósio de Geologia do Nordeste. Natal, p.185-188.
- Lima, E.S., 1986. Metamorphism and tectonic evolution in the Seridó region, Northeastern Brazil. Tese de Doutorado. University of California. Los Angeles, 215p.
- Linen, R.L. & William-Jones, A.E., 1994. The evolution of pegmatite-hosted Sn-W mineralization at Nong Sua, Thailand: evidence from fluid inclusion and stable isotopes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58:735-747.
- London, D., 1986. Formation of tourmaline-rich gem pockets in miarolitic pegmatites. *The American Mineralogist*, 71:396-405.
- London, D., 1986. The magmatic-hydrothermal transition in the Tanco rare-element pegmatite: evidence from fluid inclusions and phase equilibrium experiments. *The American Mineralogist*, 71:376-395.
- London, D., 1990. Internal differentiation of rare-element pegmatite: a synthesis of recent research. In: *Ore-Bearing Granite System; Petrogenesis and Mineralizing Process* (ed. H.J. Stein & J.L. Hannah) *The Geological Society of America - Special Paper*, 246:35-50.
- London, D. 1992. The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, 30:499-540.
- London, D., 1996. Granitic pegmatites. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 87:305-319.
- London, D., 1999. Melt boundary layers and growth of pegmatite textures. *The Canadian Mineralogist*, 37:826-827.

- London, D. & Burt, D.M., 1982. Lithium minerals in pegmatites. In: Granitic pegmatites in Science and Industry (Ed. P. Cerny). Mineralogical Association of Canada (Short Course), 8:99-133.
- London, D.; Morgan, G.B.V. & Hervig, R.L., 1989. Vapor undersaturated experiments in the system marcusanite-H₂O at 200 MPa and the internal differentiation of granitic pegmatites. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 102:1-17.
- Lumpkin, G.R., 1998. Rare-element mineralogy and internal evolution of the Rutherford#2 pegmatite, Amelia County, Virginia: a classic locality revisited. *The Canadian Mineralogist*, 36:339-353.

M

- MacDonald, D.J. & Hawthorne, F.C., 1995. Cu-bearing tourmaline from Paraíba, Brazil. *Acta Crystallographica*, C51:555-557.
- Manning, D.A.C., 1982. Chemical and morphological variation in tourmalines from the Hub Kapong batholith of peninsular Thailand. *Mineralogical Magazine*, 45:139-147.
- Manning, D.A.C., 1983. Chemical variation in garnets from aplites and pegmatites, Paninsular Thailand. *Mineralogical Magazine*, 47:353-358.
- Martins de Sá, J., 1982. Estudo petrológico-estrutural de uma área a norte de São Tomé – RN. *Boletim do Departamento de Geologia, UFRN*, 5:28-41.
- Medaris Jr., L.G.; Fournelle, H. & Henry, D.J., 2003. Tourmaline-bearing quartz veins in the Baraboo quartzite Wisconsin: occurrence and significance of foitite and “oxy-foitite”. *The Canadian Mineralogist*, 41:749-758.
- Milovsky, A.V. & Kononov, O.V., 1985. *Mineralogy* (Traduzido para o inglês por G.G.Egorov). Mir Publishers. Moscou, 320p.
- Möller, P. & Morteani, G., 1987. Geochemical exploration guide for tantalum pegmatites. *Economic Geology*, 82:1888-1897.
- Moraes, J.F.S., 1999. *Gemas do Estado do Rio Grande do Norte*. CPRM/ Governo do RN. Recife, 72p.
- Morteani, G.; Preinfalk, C. & Horn, A.H., 2000. Classification and mineralization potential of the pegmatites of the Eastern Brazilian Pegmatite Province. *Mineralium Deposita*, 35(7):638-655.
- Murdoch, J., 1955. Phosphates minerals of the Borborema pegmatites: I – Patrimônio. *The American Mineralogist*, 40:50-63.
- Murdoch, J., 1958. Phosphates minerals of the Borborema pegmatites: II – Boqueirão. *The American Mineralogist*, 43:1148-1156.

N

- Nascimento, M.A.L.; Antunes, A.F.; Galindo, A.C.; Jardim de Sá, E.F. & Souza, Z.S., 2000. Geochemical signature of the Brasiliano-age plutonism in the Seridó belt, Northeastern Borborema Province, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 30(1):161-164.
- Neves, S.P., 1996. Étude des relations entre magmatisme et zones de cisaillement lithosphériques: exemple des décrochements de Pernambuco et Fazenda Nova – État de Pernambuco. Tese de Doutorado, Universidade de Montpellier II, 240p.
- Neves, S.P. & Mariano, G., 1997. High-K calc-alkalic plutons in NE Brazil: origin of the biotite-biorite/quartz monzonite to granite associations for the evolution of the Borborema Province. *International Geology Review*, 39:621-638.
- Neves, S.P. & Mariano, G., 1999. Assessing the tectonic significance of a large-scale transcurrent shear zone system: the Pernambuco lineament, northeastern Brazil. *Journal of Structural Geology*, 21:1369-1383.
- Neves, S.P. & Mariano, G., 2001. Província Borborema: orógeno acrescionário ou intracontinental? *Estudos Geológicos. UFPE/DGEO*, 11:26-36.
- Norton, J.J., 1981. Origin of lithium-rich pegmatitic magmas, southern Black Hills, South Dakota. *Geological Society of America, Rock Mtn. Section, 34th Annual Meeting, Rapid City, Programs with Abstracts*, p.221.
- Novák, M. & Povondra, P., 1995. Elbaite pegmatites in the Moldanubicum: a new subtype of the rare-element class. *Mineralogy and Petrology*, 55:159-176.

Novák, M. & Taylor, M.C., 2000. Foitite: formation during late stages of evolution of complex granitic pegmatites at Dobrá Voda, Czech Republic, and Pala, California, U.S.A. *The Canadian Mineralogist*, 38:1399-1408.

O

Oliveira, N.S.M., 1996. Os pegmatitos Capoeira (RN): mineralogia, classificação e considerações genéticas. Dissertação de Mestrado. UFMG. Belo Horizonte, 145p.

P

Peretyazhko, I.S.; Zagorsky, V.E.; Prokof'ev, V.Y & Gantimurova, T.P., 1999. Mirolitic pegmatites of the Kukurt Group of gemstone deposits, Central Pamirs: the evolution of physical conditions in the Amazonitovaya vein. *Geochemistry International*, 37(2):108-127.

Pough, F.H., 1945. Simpsonite and the northern Brazilian pegmatite region. *Geological Society of America, Bulletin*, 56:505-514.

R

Rankama, K & Sahama, T.G., 1951. *Geoquímica*. Aguilar, S.A. de Ediciones. Madrid, 862p.

Ramboz, C.; Schnapper, D. & Dubessy, J., 1985. The P-V-T-XfO₂ evolution of H₂O-CO₂-CH₄ bearing fluids in a wolframite vein: reconstruction from fluid inclusion studies. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49:205-219.

Ries, A.C. & Shackleton, R.M., 1977. Preliminary note on structural sequences and magnitude and orientation of finite strains in the Precambrian of Northeast Brazil. VIII Simpósio de Geologia do Nordeste. Campina Grande, p.397-400.

Robinson, G.W.; Jaszczak, J.A.; Wegner, R.R. & Mills, O.P., 2002. Manganotantalite from the Alto do Giz area, Ecuador, Rio Grande do Norte, Brazil. *The Mineralogical Record*, 33:505-510.

Robinson, G.W. & Wegner, R.R., 1998. Mineralogy of the Boqueirãozinho pegmatite – Parelhas, Rio Grande do Norte, Brazil. *The Mineralogical Record*, 29:193-197.

Rodrigues da Silva, R., 1975. Phosphate minerals from pegmatites of Northeastern Brazil. *Fortschritte der Mineralogie*, 52:293-301.

Rodrigues da Silva, R. & Santos, J.M.G. 1961. Sobre o euclásio de Parelhas (Rio Grande do Norte). *Boletim do Instituto de Geologia da Universidade do Recife (Mineralogia)*, 1:5-19.

Rodrigues da Silva, R. & Villaroel, H.S., 1986. Etude cristallographique de herderite et de goyazite de Frei Martinho, Etat de Paraíba, Brésil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 58:121-124.

Roedder, E. 1984. Fluid inclusions (ed. P.H. Ribbe). *Review in Mineralogy*, 12. The Mineralogical Society of America, 644p.

Rolff, P.A.M.A., 1945. Geologia da Província Tântalo-glucínifera da Borborema. DNPM/DFPM (Boletim 73). Rio de Janeiro, 69p.

Rolff, P.A.M.A., 1946a. Bismuto, cobre e ouro na Borborema. DNPM/DFPM (Avulso 75). Rio de Janeiro, 36p.

Rolff, P.A.M.A., 1946b. Minerais dos pegmatitos da Borborema. DNPM/DFPM (Boletim 78). Rio de Janeiro, 76p.

Rolff, P.A.M.A., 1946c. Reservas minerais do município de Picuí. DNPM/DFPM (Boletim 80). Rio de Janeiro, 54p

Rosenberg, P.E. & Foit, F.F., Jr., 1979. Synthesis and characterization of alkali-free tourmaline. *The American Mineralogist*, 64:180-186.

Rossmann, G.R.; Fritsch, E. & Shigley, J.E., 1991. Origin of color in cuprian elbaite from São José da Batalha, Paraíba, Brazil. *The American Mineralogist*, 76:1479-1484.

Roy, P.L.; Dottin, O. & Madon, H.L., 1964. Estudo dos pegmatitos do Rio Grande do Norte e Paraíba. SUDENE (Série Geologia Econômica, 1). Recife, 129p.

S

Santos, E.J., 1996. Ensaio preliminar sobre terrenos e tectônica acrescionária na Província Borborema. XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia. Salvador, p.47-50.

- Santos, E.J. & Brito Neves, B.B., 1984. Província Borborema. In: O Pré-cambriano no Brasil (Eds. F.F.M. Almeida e Y. Hasui). Editora Edgard Blücher Ltda. São Paulo, p.123-186.
- Santos, E.J. & Ferreira, C.A., 2002. Geologia/estratigrafia. In: Geologia e Recursos Minerais do Estado da Paraíba (Texto explicativo dos mapas geológicos e de recursos minerais do Estado da Paraíba). Recife, p.9-50.
- Santos E.J.; Fetter, A.; Nogueira Neto, J.A.; Hackspacher, P.C. & Van Schmus, W.R., 2000. The Brasiliano cycle of the Médio Coreaú domain, NW of the Borborema Province, Northeastern Brazil. XXXI International Geological Congress. Rio de Janeiro, CD-ROM.
- Santos, E.J. & Medeiros, V., 1999. Constraints from granitic plutonism on Proterozoic crustal growth of the Transverse zone, Borborema Province, NE Brazil. *Revista Brasileira de Geociências*, 29:73-84.
- Scorza E.P., 1944. Província Pegmatítica da Borborema. DNPM/DGM (Boletim 112). Rio de Janeiro, 55p.
- Selway, J.B.; Novák, M.; Černý, P. & Hawthorne, F.C., 1999. Compositional evolution of tourmaline in lepidolite-subtype pegmatites. *European Journal of Mineralogy*, 11:569-584.
- Shearer, C.K.; Papike, J.J. & Jolliff, B.L., 1992. Petrogenetic links among granites and pegmatites in the Harney Peak rare-element pegmatite system, Black Hills, South Dakota. *The Canadian Mineralogist*, 30:785-809.
- Shearer, C.K.; Papike, J.J. & Laul, J.C., 1987. Mineralogical and chemical evolution of a rare-element granite-pegmatite system: Harney Peak granite, Black Hills, South Dakota. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 51:473-486.
- Shmakin, B.M., 1983. Geochemistry and origin of granitic pegmatites. *Geochemistry International*, 20:1-8.
- Sial, A.N. 1986. Granite-types in Northeast Brazil: current knowledge. *Revista Brasileira de Geociências*, 16: 54-72.
- Silva, W.L.; Legrand, J.M. & Souza, L.C., 1993. Evidências microtexturais da influência hidrotermal na cristalização de tipomórficos nos micaxistos Seridó. XV Simpósio de Geologia do Nordeste. Natal, p.120-123.
- Smeds, S.A., 1992. Trace elements in potassium-feldspar and muscovite, as guide in the prospecting for lithium and tin-bearing pegmatites in Sweden. *J. Geochemistry Exploration*, 42:351-369.
- Soares, D.R., 1998. Estudo mineralógico e gemológico das turmalinas do pegmatito dos Quintos – Parelhas, RN. Dissertação de Mestrado. UFPE. Recife, 99p.
- Soares, D.R. & Beurlen, H., 2003. Química mineral de espessartitas da Província Pegmatítica da Borborema. IX Congresso Brasileiro de Geoquímica. Belém, p.667-668.
- Soares, D.R.; Beurlen, H. & Ferreira, A.C.M., 2003. Química mineral da gahnita do pegmatito Capoeira, Província Pegmatítica da Borborema (PPB), NE do Brasil. XX Simpósio de Geologia do Nordeste. Fortaleza. p. 55.
- Sokolov, Y.M. & Khlestov, V.V., 1990. Garnet as indicators of the physicochemical conditions of pegmatite formation. *International Geology Review*, 32:1095-1107.
- Solodov, N.A., 1959. Geochemistry of rare metal granite pegmatite. *Geochemistry*, 7:778-792.
- Staatz, M.H.; Griffitts, W.R. & Barnett, P.R. 1965. Differences in the minor element composition of beryl in various environments. *The American Mineralogist*, 50:1783-1795.
- Staatz, M.H.; Murata, K.J. & Jewell, J.G., 1955. Variation of composition and physical properties of tourmaline with its position in the pegmatite. *The American Mineralogist*, 40:789-805.
- Swanson, S.E. & Fenn, P.M., 1992. The effect of F and Cl on the kinetics of the albite crystallization; a model for granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, 30:549-559.

T

- Tavares, J.F., 2001. Relatório de Graduação. UFPB. Campina Grande, 44p.
- Taylor, B.E.; Foord, E.E. & Friedrichsen, H., 1979 Stable isotope and fluid inclusion studies of gem-bearing granitic pegmatite-aplite dikes, San Diego Co., California. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 68: 187-205.
- Thomas, A.V.; Bray, C.J. & Spooner, T.C., 1988. A discussion of the Jahns-Burnham proposal for the formation of zoned granitic pegmatites using solid-liquid-vapour inclusions from the Tanco Pegmatite, S.E. Manitoba, Canada. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 79:299-315.
- Thomas, A.V. & Spooner, E.T.C., 1992. The volatile geochemistry of magmatic H₂O-CO₂ fluid inclusions from the Tanco zoned granitic pegmatite, southern Manitoba, Canada. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 56:49-66.
- Thomas, R., 2003. Melt and fluid inclusions in evolved and simple granitic pegmatites. *Acta Mineralogica-Petrographica*, Szeged, Abstracts series, 2:211-212.
- Thomas, R.; Foster, H.J. & Heinrich, W., 2003. The behavior of boron in peraluminous granite-pegmatite system and associated hidrothermal solutions: a melt and fluid-inclusion study. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 144:457-472.
- Thomas, R.; Webster, J.D. & Heinrich, W., 2000. Melt inclusions in pegmatite quartz: complete miscibility between silicate melts and hydrous fluids at low pressure. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 139:394-401.
- Tindle, A.G. & Breaks, F.W., 1998. Oxides minerals of the Separation Rapids rare-element granitic pegmatite group, northwestern Ontario. *The Canadian Mineralogist*, 36:609-635.
- Tindle, A.G.; Breaks, F.W. & Selway, J.B., 2002. Tourmaline in petalite-subtype granitic pegmatites: evidence of fractionation and contamination from the Pakeagama Lake and Separation Lake areas of northwestern Ontario, Canada. *The Canadian Mineralogist*, 40:753-788.
- Tindle, A.G.; Breaks, F.W. & Webb, P.C., 1998. Wodginite-group minerals from the Separation Rapids rare-element granitic pegmatite group, Northwestern Ontario. *The Canadian Mineralogist*, 36:637-658.
- Trueman, D.L. & Černý, P., 1982. Exploration of rare-element granitic pegmatite. In: *Granitic pegmatite in science and industry* (Ed. P. Cerny). Mineralogical Association of Canada (Short Course), 8:463-493.

U

- Uher, P.; Cerny, P.; Chapman, R.; Határ, J. & Miko, O., 1998. Evolution of Nb, Ta-oxide minerals in the Prašiva granitic pegmatites, Slovakia. I. Primary Fe, Ti-rich assemblage. *The Canadian Mineralogist*, 36:525-534.

V

- Van Schmus, W.R.; Dantas, E.; Fetter, A.; Brito Neves, B.B.; Hackspacher, P.C. & Babinski, M., 2000. The Seridó Group, NE Brazil: a late Neoproterozoic (650Ma), pre-collisional, Brasiliano flysch basin? XXXI International Geological Congress. Rio de Janeiro, CD-ROM.
- Varlamoff, N., 1960. Relations spatiales entre lês pegmatites et les granites em Afrique Centrale et à Madagascar. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 7:711-722.
- Vasconcelos, F.M., 1946. Pegmatito tantalífero de Boa Vista, Paraíba. DNPM/DFPM (Avulso 74). Rio de Janeiro, 27p.
- Vaucher, A.; Amaro, V.; Archanjo, C.; Arthaud, M.; Bouchez, J.L.; Caby, R.; Corsini, M.; Egídio-Silva, M.; Jardim de Sá, E.F. Neves, S.P.; Sá, J.M. & Sial, A.N., 1992. The Borborema shear zone system: a tectonic model. XXXVII Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, p.371-373.
- Vaucher, A.; Neves, S.; Caby, R.; Corsini, M.; Egídio-Silva, M.; Arthaud, M. & Amaro, V., 1995. The Borborema shear zone system, NE Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 8(3/4):247-266.

- Veksler, I.V. & Thomas, R., 2002. An experimental study of B-, P- and F-rich syntetic granite pegmatite at 0.1 and 0.2 GPa. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 143:673-683.
- Vlasov, K.A., 1964. Geochemistry and mineralogy of rare elements and genetic types of their deposits. Vol. II: Mineralogy of rare elements. Moscow. Israel Program for Science Translation. Jerusalem (1966), 945p.
- Vlasov, K.A., 1952. Textural-paragenetic classification of granitic pegmatites. *Izvestiya. Academia de Ciênhcias da URSS*, p. 30-44 (em russo).
- Von Knorring, O. & Dearnley, R., 1960. The Lewisian pegmatites of the South Harris, Outer Hebrides. *Mineralogical Magazine*, 32:366-378.

W

- Walker, R.J.; Hanson, G.N.; Papike, J.J.; O'Neil, J.R. & Laul, J.C., 1986. Internal evolution of the Tin Mountain pegmatite, Balck Hills, South Dakota. *The American Mineralogist*, 71:440-459.
- Webster, J.D.; Thomas, R.; Rhede, D.; Förster, H.J. & Seltman, R., 1997. Melt inclusions in quartz from evolved peraluminous pegmatite: geochemical evidence for strong tin enrichment in fluorine-and phosphorus-rich residual liquids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61:2589-2604.
- Wegner, R. R.; Brito, A.R. & Pöllmann, H., 2002. Eine ungewöhnliche fluorid-paragenese von pegmatit Serra Branca unweit Pedra Lavrada, Paraíba, Brasilien. *Aufschluss*, 53:159-165.
- Wegner, R.R.; Karfunkel, J. & Schuckmann, W., 1998. Duas novas variedades gemológicas: trifilita e triplita olho-de-gato da Paraíba. *XL Congr. Bras. Geol. Belo Horizonte*, p.278.
- Wegner, R.R. & Pöllmann, H., 1999. Gut ausgebildeter reichlicher Bismoclit in einer wismutparagenese aus dem Pegmatit "Alto da Mata", Rio Grande do Norte, Brasulien. *Aufschluss*, 50:117-121.
- Wegner, R.R.; Pöllmann, H.; Witzke, T. & Schuckmann, W., 1998. Colquirite, carlhintzeite, ralstonite and pachnolite from Serra Branca pegmatite, Brazil. *Proceedings of the 17th General Meeting, International Mineralogical Association. Toronto*, p.A151.
- Williamson, B.J.; Spratt, J.; Adams, J.T.; Tindle, A.G.; Stanley, C.J., 2000. Geochemical constraints from zoned hydrothermal tourmalines on fluid evolution and Sn mineralization: an example from fault Breccias at Roche, SW England. *Journal of Petrology*, 41(9):1439-1453.
- Winkler, H.G.F., 1967. *Petrogenesis of metamorphic rocks*. 2nd edition. Spring-Verlag. New York, 334p.
- Wise, M., 1999. Characterization and classification of NYF-type pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, 37:802-803.
- Witzke, T.; Wegner, R.; Doering, T.; Pöllmann, H. & Schuckmann, W., 2000. Serrabrancaíta, $MnPO_4 \cdot H_2O$, a new mineral from the Alto Serra Branca pegmatite, Pedra Lavrada, Paraíba, Brazil. *The American Mineralogist*, 85:847-849.

Z

- Zagorsky, V.Y.; Makagon, V..M. & Shmakin, B.M., 1999. The systematics of granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist*, 37:800-802.
- Zhang, C.; Gieré, R.; Strünitz,H.; Brack, P. & Ulmer, P., 2001. Garnet-quartz intergrowths in granitic pegmatites from Bergell and Adamello, Italy. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen*, 81:89-113

Anexo I – Minerais Acessórios dos Pegmatitos da PPB

Para minerais de ocorrência generalizada, usou-se o termo “diversos” para designar que ocorrem em vários pegmatitos (é inviável citar apenas um pegmatito), pois poderia parecer um pegmatito tipo. Para minerais de ocorrência mais restrita citou-se a localidade descrita originalmente no trabalho fonte. O autor citado não é necessariamente o pioneiro na descrição do determinado mineral, mas serve como referência para consulta. Minerais que podem ser aproveitados como gema aparecem com um asterisco (*) ao lado. A seguir listam-se os minerais dos pegmatitos da PPB, citados na literatura, divididos por classes minerais:

1.1 - Elementos Nativos:

FASE MINERAL	PEGMATITO/LOCAL	FÓRMULA QUÍMICA	REFERÊNCIAS
Antimônio	---	Sb	Rolff, 1946b
Bismuto	Boqueirão/Parelhas-RN	Bi	Rolff, 1946b
Ouro	Mamões/Parelhas-RN	Au	Rolff, 1946b
Enxofre	Alto da Mata/Equador-RN	S	Wegner & Pöllmann, 1999

1.2 - Fluoretos:

FASE MINERAL	PEGMATITO/LOCAL	FÓRMULA QUÍMICA	REFERÊNCIAS
Carlhintzeita	Alto Serra Branca/Pedra Lavrada-PB	$\text{Ca}_2\text{AlF}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Wegner <i>et al.</i> , 1998
Colquirita	Alto Serra Branca/Pedra Lavrada-PB	CaLiAlF_6	Wegner <i>et al.</i> , 1998
Pachnolita	Alto Serra Branca/Pedra Lavrada-PB	$\text{NaCaAlF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Wegner <i>et al.</i> , 1998
Prosopita	Alto Serra Branca/Pedra Lavrada-PB	$\text{CaAl}_2(\text{F}, \text{OH})_8$	Wegner <i>et al.</i> , 2002
Ralstonita	Alto Serra Branca/Pedra Lavrada-PB	$\text{Na}_x\text{Mg}_x\text{Al}_{2-x}(\text{F}, \text{OH})_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Wegner <i>et al.</i> , 1998
Thomsenolita	Alto Serra Branca/Pedra Lavrada-PB	$\text{NaCaAlF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$	Wegner <i>et al.</i> , 2002

1.3 - Sulfetos e Sulfatos:

FASE MINERAL	PEGMATITO/LOCAL	FÓRMULA QUÍMICA	REFERÊNCIAS
Arsenopirita	---	FeAsS	Rolff, 1946c
Barita	Alto da Mata/Equador-RN	BaSO_4	Wegner & Pöllmann, 1999
Bismutinina	---	Bi_2S_3	Rolff, 1946b
Bornita	Boqueirão/Parelhas-RN	Cu_5FeS_4	Bhaskara Rao & Nayak, 1965
Calcocita	Tanquinhos/Pedra Branca-PB	Cu_2S	Rolff, 1946b
Calcopirita	---	CuFeS_2	Rolff, 1946b

Sulfetos e Sulfatos (Continuação):

Covellita	Diversos	CuS	Rolff, 1946b
Digenita	Capoeira/Parelhas-RN	Cu ₉ S ₅	Robinson & Wegner, 1998
Djurleíta	Alto da Figueira/Frei Martinho-PB	Cu ₃₁ S ₁₆	Cassedanne, 1990
Estibnita	---	Sb ₂ S ₃	Rolff, 1946b
Galena	Capoeira/Parelhas-RN	PbS	Robinson & Wegner, 1998
Gipsita	Alto da Mata/Equador-RN	CaSO ₄ .H ₂ O	Wegner & Pöllmann, 1999
Molibdenita	---	MoS ₂	Rolff, 1946b
Pirita	---	FeS ₂	Rolff, 1946b
Pirrotita	Boqueirão/Parelhas-RN	Fe _{1-x} S	Bhaskara Rao & Nayak, 1965
Tetraedrita	Boqueirão/Parelhas-RN	(Cu,Fe) ₁₂ Sb ₄ S ₁₃	Bhaskara Rao & Nayak, 1965
Wittichenita	Capoeira/Parelhas-RN	Cu ₃ BiS ₃	Este trabalho

1.4 - Silicatos:

FASE MINERAL	PEGMATITO/LOCAL	FÓRMULA QUÍMICA	REFERÊNCIAS
Allanita	Boqueirão/Parelhas-RN	(Ce,Ca,Y) ₂ (Al,Fe ³⁺) ₃ (SiO ₄)(Si ₂ O ₇)O(OH)	Farias, 1976
Almandina*	Boqueirão/Parelhas-RN	Fe ²⁺ ₃ Al ₂ Si ₃ O ₁₂	Farias, 1976
Berilo*	Diversos	Be ₃ Al ₂ Si ₆ O ₁₈	Rolff, 1946b
Bertrandita	Alto Mirador/Carnaúba dos Dantas-RN	Be ₄ Si ₂ O ₇ (OH) ₂	Ferreira & Tavares, 1997
Biotita	Diversos	K(Mg,Fe ²⁺) ₃ (Al,Fe ³⁺)Si ₃ O ₁₀ (OH,F) ₂	Rolff, 1946b
Braunita	Boqueirão/Parelhas-RN	Mn ²⁺ Mn ³⁺ ₆ SiO ₁₂	Farias, 1976
Calcedônia	Diversos	SiO ₂	Rolff, 1946b
Caulinita	Diversos	Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	Rolff, 1946b
Cianita	Boqueirão/Parelhas-RN	Al ₂ SiO ₅	Farias, 1976
Cookeíta	Quintos/Parelhas-RN	LiAl ₄ (Si ₃ ,Al)O ₁₀ (OH) ₈	Soares, 1998
Crisocola	Capoeira/Parelhas-RN	(Cu ²⁺ ,Al) ₂ H ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ .nH ₂ O	Robinson & Wegner, 1998
Dravita*	Alto Serra Branca/Pedra Lavrada-PB	NaMg ₃ Al ₆ Si ₆ O ₁₈ (BO ₃) ₃ (OH) ₄	Cassedanne, 1995
Elbaíta*	Diversos	Na(Li,Al) ₃ Al ₆ Si ₆ O ₁₈ (BO ₃) ₃ (OH) ₄	Soares, 1998
Epidoto	---	Ca ₂ (Fe ³⁺ ,Al) ₃ (Si ₂ O ₇)(SiO ₄)(O,OH) ₂	Rolff, 1946b
Espessartita*	Alto Mirador/Carnaúba dos Dantas-RN	Mn ²⁺ ₃ Al ₂ (SiO ₄) ₃	Ferreira, 1997
Espodumênio	Diversos	LiAlSi ₂ O ₆	Rolff, 1946b
Euclásio*	Mamões/Equador-RN	BeAlSiO ₄ (OH)	Rodrigues da Silva & Santos, 1961
Eucryptita (?)	---	LiAlSiO ₄	Rolff, 1946b
Hectorita	Capoeira/Parelhas-RN	Na _{0,3} (Mg,Li) ₃ Si ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂	Robinson & Wegner, 1998
Lepidolita	Diversos	K(Li,Al) ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (F,OH) ₂	Rolff, 1946b
Rodonita	Boqueirão/Parelhas-RN	MnSiO ₃	Rolff, 1946b
Schorlita	---	NaFe ²⁺ ₃ Al ₆ Si ₆ O ₁₈ (BO ₃) ₃ (OH) ₄	Rolff, 1946b
Sericita	---		Rolff, 1946b

Silicatos (Continuação):

Thortveitita	Alto da Mata/Equador-RN	(Sc,Y) ₂ Si ₂ O ₇	Wegner & Pöllmann, 1999
Uranofânio	Boqueirão/Parelhas-RN	Ca(UO ₂) ₂ Si ₂ O ₇ .6H ₂ O	Farias, 1976
Vermiculita	---	(Mg,Fe,Al) ₃ (Al,Si) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .4H ₂ O	Rolff, 1946b
Zircão	---	ZrSiO ₄	Rolff, 1946b

1.5 - Carbonatos:

FASE MINERAL	PEGMATITO/LOCAL	FÓRMULA QUÍMICA	REFERÊNCIAS
Aragonita	Boqueirão/Parelhas-RN	CaCO ₃	Farias, 1976
Azurita	---	Cu ²⁺ ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂	Rolff, 1946b
Bismutita	Alto Feio/Pedra Lavrada-PB	Bi ₂ O ₃ (CO ₃)	Rolff, 1946b
Calcita	---	CaCO ₃	Rolff, 1946b
Malaquita	---	Cu ₂ CO ₃ (OH) ₂	Rolff, 1946b
Rutherfordita	Quintos/Parelhas-RN	U(CO ₃) ₂ .H ₂ O	Este trabalho

1.6 - Óxidos:

FASE MINERAL	PEGMATITO/LOCAL	FÓRMULA QUÍMICA	REFERÊNCIAS
Alumotantita	Alto do Giz/Equador-RN	AlTaO ₄	Ercit, <i>et al.</i> , 1992b
As-bismita	---	---	Bhaskara Rao & Adusumilli, 1966b
Betafita	---	(Ca,Na,U) ₂ (Ti,Nb,Ta) ₂ O ₆ (OH)	Rolff, 1946b
Bismoclita	Alto Feio/Pedra Lavrada-PB	BiOCl	Bhaskara & Adusumilli, 1965
Bismutotantalita	Pedras Pretas/Juazeirinho-PB	Bi(Ta,Nb)O ₄	Adusumilli, 1976
Brannerita	Quintos/Parelhas-RN	(U,Ca,Y,Ce)(Ti,Fe) ₂ O ₆	Este trabalho
Broeggerita	---	(U,Th)O ₂	Rolff, 1946b
Cassiterita	Diversos	SnO ₂	Rolff, 1946b
Coronadita	Capoeira/Parelhas-RN	Pb(Mn ⁴⁺ ,Mn ²⁺) ₈ O ₁₆	Robinson & Wegner, 1998
Criptomelano	Boqueirão/Parelhas-RN	K(Mn ⁴⁺ ,Mn ²⁺) ₈ O ₁₆	Murdoch, 1958
Cuprita	São José da Batalha/Salgadinho-PB	Cu ₂ O	Bhaskara Rao & Castro, 2001
Euxenita	---	(Y,Ca,Ce,U,Th)(Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆	Rolff, 1946b
Fergusonita	Alto Questão/Picuí-PB	(Y,ETR)NbO ₄	Rolff, 1946b
Ferrotantalita	Boqueirão/Parelhas-RN	Fe ²⁺ Ta ₈ O ₂₄	Adusumilli, 1976
Ferrotapiolita	Alto do Giz	FeTa ₂ O ₆	Černý <i>et al.</i> (1992)
Ferrowodginita	Fortuna/Frei Martinho-PB	FeSnTa ₂ O ₈	Beurlen <i>et al.</i> , 2003b
Fersmita	Quintos/Parelhas-RN	(Ca,Fe)(Nb,Ta,Ti) ₂ O ₆	Este trabalho
Gahnita*	Alto Mirador/Carnaúba dos Dantas-RN	ZnAl ₂ O ₄	Ferreira, 1997
Hausmanita	Boqueirão/Parelhas-RN	Mn ₃ O ₄	Farias, 1976
Hematita	---	Fe ₂ O ₃	Rolff, 1946b

Óxidos (Continuação):

Ilmenita	---	FeTiO ₃	Rolff, 1946b
Ilmenorutilo	---	(Ti,Nb,Fe)O ₂	Rolff, 1946b
Itriotantalita	---	(Y,U,Fe ²⁺)(Ta,Nb)O ₄	Rolff, 1946b
Ixiolita(?)	Alto do Giz/Equador-RN	(Ta,Nb,Sn,Fe,Mn,Ti) ₄ O ₈	Adusumilli, 1976
Jacobsita	Boqueirão/Parelhas-RN	MnFe ₂ O ₄	Farias, 1976
Magnetita	---	Fe ₃ O ₄	Rolff, 1946b
Manganita	Boqueirão/Parelhas-RN	Mn ³⁺ O(OH)	Murdoch, 1958
Manganocolumbita	Capoeira/Parelhas-RN	(Mn ²⁺ ,Fe ²⁺)(Nb,Ta) ₂ O ₆	Robinson & Wegner, 1998
Manganotantalita*	Diversos	(Mn ²⁺ ,Fe ²⁺)Ta ₂ O ₆	Rolff, 1946b
Microlita	Alto do Giz/Equador-RN	(Ca,Na) ₂ Ta ₂ O ₆ (O,OH,F)	Rolff, 1946b
Natrobistantita	Quintos/Parelhas-RN	(Na,Cs)Bi(Ta,Nb,Sb) ₄ O ₁₂	Este trabalho
Pechblenda	Boqueirão/Parelhas-RN	UO ₂	Rolff, 1946b
Parabariomicrolita	Alto do Giz/Equador-RN	BaTa ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .2H ₂ O	Ercit <i>et al.</i> , 1986
Pirocloro	Capoeira/Parelhas-RN	(Ca,Na) ₂ Nb ₂ O ₆ (OH,F)	Robinson & Wegner, 1998
Pirolusita	---	MnO ₂	Rolff, 1946b
Policrácio	Diversos	(Y,Ca,Ce,U,Th)(Ti,Nb,Ta) ₂ O ₆	Rolff, 1946b
Psilomelano	---		Rolff, 1946b
Rutilo	Diversos	TiO ₂	Rolff, 1946b
Samarskita	Diversos	(Y,Ce,U,Ca,Pb)(Nb,Ta,Ti,Sn) ₂ O ₆	Rolff, 1946b
Simpsonita	Alto do Giz/Equador-RN	Al ₄ (Ta,Nb) ₃ (O,OH,F) ₁₄	Johnston Jr., 1945a
Staringita	Seridozinho/Juazeirinho-PB	(Fe,Mn) _{0,5} (Ta,Nb)(Sn,Ti) _{4,5} O ₁₂	Adusumilli, 1970
Stibiotantalita	Boqueirão/Parelhas-RN	SbTaO ₄	Farias, 1976
Strüverita	Corredor/Nova Palmeira-PB	(Ti,Ta,Fe ³⁺) ₃ O ₆	Beurlen <i>et al.</i> , 2004
Tantalaeschynita	Raposo/S. José do Sabugi-PB	(Ca,Y,Ce,Th,U)(Ta,Ti,Nb) ₂ O ₆	Adusumilli <i>et al.</i> , 1974
Tenorita	Capoeira/Parelhas-RN	Cu ²⁺ O	Adusumilli, 2001
Titanoixiolita	Quintos/Parelhas-RN	(Ta,Ti,Nb,Mn,Fe,Sn) ₄ O ₈	Este trabalho
Uranomicrolita (Djalmaíta)	Alto do Giz/Equador-RN	(U,Ca,Ce) ₂ (Ta,Nb) ₂ O ₆ (OH,F)	Adusumilli, 1976
Uranopirocloro	Capoeira/Parelhas-RN	(U,Ca,Ce) ₂ (Nb,Ta) ₂ O ₆ (OH,F)	Robinson & Wegner, 1998
Vernadita	Alto Serra Branca/Pedra Lavrada-PB	MnO ₂ .nH ₂ O	Witzke <i>et al.</i> , 2000
Wodginita	Seridozinho/Juazeirinho-PB	Mn ²⁺ Sn ⁴⁺ Ta ₂ O ₈	Adusumilli, 1970

1.7 - Fosfatos:

FASE MINERAL	PEGMATITO/LOCAL	FÓRMULA QUÍMICA	REFERÊNCIAS
Ambligonita	---	(Li,Na)Al(PO ₄)(F,OH)	Rolff, 1946b
Arrojadita	Diversos	KNa ₄ CaMn ²⁺ ₄ Fe ²⁺ ₁₀ Al(PO ₄) ₁₂ (OH,F) ₂	Rolff, 1946b
Barbosalita	Boqueirão/Parelhas-RN	Fe ²⁺ Fe ³⁺ (PO ₄) ₂ (OH) ₂	Bhaskara Rao & Adusumilli, 1966a
Beraunita	Boqueirão/Parelhas-RN	Fe ²⁺ Fe ³⁺ (PO ₄) ₄ (OH) ₅ .6H ₂ O	Murdoch, 1958
Brasilianita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	NaAl ₃ (PO ₄) ₂ (OH) ₄	Murdoch, 1955
Crandallita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	CaAl ₃ (PO ₄)(PO ₃ ,OH)(OH) ₆	Murdoch, 1955
Dahlita	Boqueirão/Parelhas-RN	Ca ₅ (PO ₄ ,CO ₃)F	Rodrigues da Silva, 1975

Fosfatos (Continuação):

Eosforita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	$Mn^{2+}Al(PO_4)(OH)_2 \cdot H_2O$	Murdoch, 1955
Fairfieldita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Ca_2(Mn^{2+}, Fe^{2+})(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$	Murdoch, 1958
Ferroeosforita	Boqueirão/Parelhas-RN	$(Mn, Fe)Al(PO_4)(OH)_2 \cdot H_2O$	Farias, 1976
Ferrissicklerita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	$Li(Fe^{3+}, Mn^{2+})PO_4$	Murdoch, 1955
Fluellita	Alto Serra Branca/Pedra Lavrada-PB	$Al_2(PO_4)F_2(OH) \cdot 7H_2O$	Witzke <i>et al.</i> , 2000
Fluorapatita	Capoeira/Parelhas-RN	$Ca_5(PO_4)_3F$	Robson & Wegner, 1998
Fosfofilita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Zn_2(Fe^{2+}, Mn^{2+})(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	Murdoch, 1958
Fosfosiderita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Fe^{3+}(PO_4) \cdot 2H_2O$	Farias, 1976
Frondelita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Mn^{2+}Fe^{3+}_4(PO_4)_3(OH)_5$	Murdoch, 1958
Goiasita	Alto Questão/Frei Martinho-PB	$SrAl_3(PO_4)(PO_3, OH)(OH)_6$	Rodrigues da Silva & Villaroel, 1986
Graftonita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	$(Fe^{2+}, Mn^{2+}, Ca)_3(PO_4)_2$	Murdoch, 1955
Herderita	---	$CaBe(PO_4)F$	Ferreira & Tavares, 1997
Heterosita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	$Fe^{3+}PO_4$	Murdoch, 1955
Hureaulita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	$Mn^{2+}_5(PO_4)_2(PO_3)_2(OH)_2 \cdot 4H_2O$	Murdoch, 1955
Lazulita*	Algodão/Parelhas-RN	$(Mg, Fe)Al_2(PO_4)_2(OH)_2$	Rolf, 1946b
Leucosofita	Boqueirão/Parelhas-RN	$KFe^{3+}_2(PO_4)_2(OH) \cdot 2H_2O$	Bhaskara Rao & Adusumilli, 1966a
Litiofilita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	$LiMnPO_4$	Murdoch, 1955
Manganolipiscombita	Boqueirão/Parelhas-RN	$(Mn^{2+}, Fe^{2+})Fe^{3+}_2(PO_4)_2(OH)_2$	Farias, 1976
Manganovariscita	Boqueirão/Parelhas-RN	$(Al, Mn)PO_4 \cdot 2H_2O$	Farias, 1976
Metatorbernitita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Cu^{2+}(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$	Murdoch, 1958
Metautunita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \cdot 6H_2O$	Murdoch, 1958
Metavauxita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Fe^{2+}Al_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 8H_2O$	Farias, 1976
Mitridatita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Ca_3Fe^{3+}(PO_4)_4(OH)_6 \cdot 3H_2O$	Murdoch, 1958
Monazita	diversos	$(Ce, La, Nd, Y, Th)PO_4$	Johnston Jr., 1945a
Monetita (chavesita)	Boqueirão/Parelhas-RN	$CaHPO_4$	Murdoch, 1958
Neomesselita	Boqueirão/Parelhas-RN	$(Ca, Fe, Mn)_3(PO_4)_2 \cdot 2H_2O$	Farias, 1976
Purpurita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Mn^{3+}PO_4$	Murdoch, 1958
Rockbridgeíta	Boqueirão/Parelhas-RN	$(Fe^{2+}, Mn^{2+})Fe^{3+}_4(PO_4)_3(OH)_5$	Murdoch, 1958
Roscherita	Alto Serra Branca/Pedra Lavrada-PB	$Ca_2Be_4Mn^{2+}_5(PO_4)_6(OH)_4 \cdot 6H_2O$	Atêncio, 2002
Sabugalita	Boqueirão/Parelhas-RN	$HAl(UO_2)_4(PO_4)_4 \cdot 16H_2O$	Farias, 1976
Scorzalita	Boqueirão/Parelhas-RN	$(Fe^{2+}, Mg)Al_2(PO_4)_2(OH)_2$	Farias, 1976

Fosfatos (Continuação):

Serrabrançaíta	Alto Serra Branca /Pedra Lavrada-PB	$MnPO_4 \cdot H_2O$	Witzke <i>et al.</i> , 2000
Sicklerita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Li(Mn^{2+}, Fe^{3+})(PO_4)$	Murdoch, 1958
Stewartita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	$Mn^{2+}Fe^{3+}_2(PO_4)_2(OH)_2 \cdot 8H_2O$	Murdoch, 1955
Tavorita	Boqueirão/Parelhas-RN	$LiFe^{3+}(PO_4)(OH)$	Murdoch, 1958
Trifilita*	Boqueirão/Parelhas-RN	$LiFe^{2+}(PO_4)$	Farias, 1976
Triplita*	Boqueirão/Parelhas-RN	$(Mn^{2+}, Fe^{2+}, Mg, Ca)_2(PO_4)(OH)$	Rodrigues da Silva, 1975
Triploidita	Capoeira/Parelhas-RN	$(Mn^{2+}, Fe^{2+})_2(PO_4)(OH)$	Robinson & Wegner, 1998
Variscita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	$AlPO_4 \cdot 2H_2O$	Murdoch, 1955
Vivianita	Boqueirão/Parelhas-RN	$Fe^{2+}_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$	Murdoch, 1958
Wardita	Patrimônio/Pedra Lavrada-PB	$NaAl_3(PO_4)_2(OH)_4 \cdot 2H_2O$	Murdoch, 1955
Wilkeíta	Boqueirão/Parelhas-RN	$Ca_5(SiO_4, PO_4, SO_4)_3(O, OH, F)$	Farias, 1976

1.8 - Molibdato, vanadatos e telureto:

FASE MINERAL	PEGMATITO/LOCAL	FÓRMULA QUÍMICA	REFERÊNCIAS
Carnotita	---	$K_2(UO_2)_2V_2O_8 \cdot 3H_2O$	Rolff, 1946b
Duhamelita	Alto da Mata/Equador-RN	$Pb_2Cu^{2+}_4Bi(VO_4)_4(OH)_3 \cdot 8H_2O$	Wegner & Pöllmann, 1999
Ferrimolibdita	Garrotes	$Fe^{3+}_2(Mo^{6+}O_4)_3 \cdot 8H_2O$	Rolff, 1946b
Hessita	Capoeira/Parelhas-RN	Ag_2Te	Robinson & Wegner, 1998

Anexo II – Dados Microtermométricos das Inclusões Fluidas

Estudos microtermométricos realizados no Laboratório de Inclusões Fluidas e Microscopia de Minérios do Departamento de Engenharia de Minas, UFPE.

Incl. Nº = número da inclusão fluida; Fase = fase mineral; Tc = temperatura de congelamento; TE = temperatura do eutético; %CO₂ = percentual de CO₂ na inclusão fluida; TfCO₂ = temperatura de fusão final do CO₂; Tf gelo = temperatura de fusão final do gelo; Tfhd = temperatura de fusão final do hidrato; Tfchal = temperatura de fusão final do clatrato; ThPCO₂ = temperatura de fusão final do CO₂; ThT-H₂O = temperatura de homogeneização total (H₂O); ThT-CO₂ = temperatura de homogeneização total (CO₂); Saltfch = salinidade calculada a partir de Tfchal; Saltmice = salinidade calculada a partir de Tf gelo; Saltmice 2 = salinidade calculada a partir de Tfhd; Qz = quartzo; QZ1 e QZ2 são respectivamente quartzo leitoso e quartzo esfumaçado. N = número de medições ou observações em uma determinada variável; Min. = menor valor de uma variável; Max = maior valor de uma variável; D. Padr. = desvio padrão para uma determinada variável; Média = valor médio para cada variável; Qz = quartzo; Gr = granada; Tur = turmalina; Ap = apatita.

2.1 - Pegmatito Boqueirão

BO-01/Chips1 e 3 - Zona III do pegmatito Boqueirão

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tf gelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	Saltfch	Saltmice	Saltmice2
2014-b	QZ		-32			-4,4				202			7,02	
2016-b	QZ					-4,6				192			7,31	
2018-b	QZ					-4,5				186			7,17	
2019-b	QZ					-4,5				189			7,17	
2020-b	QZ					-3,1				218			5,11	
2001-1	QZ					-3,3				226			5,41	
2001-2	QZ					-3,4				197			5,56	
2002	QZ		-23			-3,2							5,26	
2003	QZ					-3,3							5,41	
2004	QZ		-24			-3,0							4,96	
2005	QZ					-3,7							6,01	
2006	QZ					-3,6							5,86	
2007	QZ					-3,6				242			5,86	
2008	QZ					-3,8				271			6,16	
2009	QZ		-30			-3,3				241			5,41	
2010	QZ					-3,1				235			5,11	
2011	QZ		-21,5			-3,1				207			5,11	

BO-01/Chips1 e 3 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2012	QZ		-21			-1,1							1,91	
2013	QZ					-2,7							4,49	
2014	QZ					-2,6							4,34	
2015,1	QZ		-19,5			-3,0				215			4,96	
2015,2	QZ					-2,9				212			4,80	
2016	QZ					-2,5							4,18	
2021-2	QZ					-3,7				219			6,01	
2021-3	QZ					-3,2				201			5,26	
2022-2	QZ		-23			-3,3							5,41	
2023-1	QZ					-4,2							6,74	
2023-2	QZ					-3,7				220			6,01	
2029	QZ					-3,1				206			5,11	
2030	QZ					-3,7				201			6,01	
2031	QZ					-3,8				204			6,16	
2032	QZ					-3,1				224			5,11	
2033	QZ									201				
2034	QZ									202				
2035	QZ					-3,9				265			6,30	
2038	QZ					-3,1				201			5,11	
2040	QZ					-3,5				245			5,71	
2042-1	QZ					-3,1				210			5,11	
2044-1	QZ					-3,2				206			5,26	
2044-2	QZ									205				
2044-3	QZ					-3,2				206			5,26	
2045	QZ					-3,1				201			5,11	
2046	QZ					-3,2				205			5,26	
2056	QZ					-3,4				210			5,56	
2057	QZ					-2,7							4,49	
2060-1	QZ					-2,5				204			4,18	
2060-2	QZ					-2,8				205			4,65	
2061	QZ					-2,5				209			4,18	
2067	QZ					-2,8				209			4,65	
2077	QZ		-20			-2,9				209			4,80	

BO-01/Chips1 e 3 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2078	QZ					-2,9				210			4,80	
2080-1	QZ					-2,9				201			4,80	
2080-2	QZ					-2,8				201			4,65	
2021-b	QZ					-2,9				215			4,80	
2022-b	QZ					-3,0				216			4,96	
2023-b	QZ					-3,1				216			5,11	
2024-b	QZ					-3,1				216			5,11	
2025-b	QZ					-3,0				216			4,96	
2026-b	QZ					-3,5				212			5,71	
2027-b	QZ					-3,4				219			5,56	
2028-b	QZ					-3,4				225			5,56	
2029-b	QZ					-3,2				222			5,26	
2030-b	QZ					-3,4				218			5,56	
2031-b	QZ					-3,5				217			5,71	
2032-b	QZ					-3,4				217			5,56	
2033-b	QZ					-3,2				219			5,26	
2034-b	QZ					-3,4							5,56	
2035-1b	QZ					-3,4				226			5,56	
2035-2b	QZ					-3,4				227			5,56	
2036-b	QZ					-3,2				228			5,26	
2037-b	QZ					-3,3				220			5,41	
2038-b	QZ					-2,3				189			3,87	
2039-b	QZ					-3,4				182			5,56	
2040-1b	QZ					-3,3				179			5,41	
2040-b	QZ					-3,2				186			5,26	
2041-b	QZ					-3,0				182			4,96	
2021-1	QZ					-3,4		2,2					5,56	
2021-6	QZ					-3,3		2,2					5,41	
2042-2	QZ					-3,2		4,8		207			5,26	
2043	QZ					-3,1		5,4		205			5,11	
2055	QZ					-3,0		5,0		212			4,96	
2058	QZ					-2,9		4,2		217			4,80	
2059	QZ					-3,2		3,6		216			5,26	
														12,93
														12,93
														9,26
														8,33
														8,95
														10,16
														11,03

BO-01/Chips1 e 3 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2063	QZ				-3,4			2,4		211		12,67	5,56	
2064	QZ				-3,2			3,7		211		10,88	5,26	
2065	QZ				-3,1			4,1		212		10,31	5,11	
2066	QZ				-3,2			3,6				11,03	5,26	
2068	QZ				-3,6			2,8		212		12,14	5,86	
2069	QZ				-3,0			4,4		207		9,86	4,96	
2070	QZ				-3,4			3,5		206		11,17	5,56	
2071	QZ				-3,3			3,7		212		10,88	5,41	
2072-1	QZ				-3,2			3,5		214		11,17	5,26	
2074-1	QZ				-3,4			3,2		217		11,59	5,56	
2074-2	QZ				-3,5			3,4		215		11,31	5,71	
2084-3	QZ				-3,2			3,0		191		11,86	5,26	
Média			-23,40		-3,24			3,62		211,71		11,0	5,3	
D. Padr.			4,29		0,47			0,90		15,80		1,28	0,70	
Min.			-32,00		-4,60			2,20		179,00		8,33	5,30	
Máx.			-19,50		-1,10			5,40		271,00		12,93	7,31	
N			10		92			19		79		19	91	

BO-01/Chip 2 - Zona I do pegmatito Boqueirão

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	TH-H ₂ O	ThT-H ₂ O	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
5042	QZ							7,2			274	5,33		
5043	QZ				-2,6					289		15,62		
5044	QZ				-2,9					247		15,62		
5045	QZ				-3,5			7,7		290		4,44		
5046	QZ				-3,1			7,7		292		4,44		
5048	QZ				-2,7					282		15,62		
5049	QZ				-3,1			8,8		292		2,39		
5050	QZ				-3,2			8,8		283		2,39		
5051	QZ				-2,9							15,62		
5052	QZ				-2,8					248		15,62		

BO-01/Chip 2 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThH ₂ O	ThT-H ₂ O	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
5053	QZ				-2,6						280	15,62		
5054	QZ				-3,2						281	15,62		
5055	QZ				-2,8						263	15,62		
5056	QZ				-2,9						291	15,62		
5057	QZ				-2,6						290	15,62		
5058	QZ				-2,9		8,9				282	2,20		
5059	QZ				-2,9		7,2				262	5,33		
5060	QZ				-2,9		8,7				292	2,59		
5061	QZ				-3,4		8,1				284	3,71		
5062	QZ				-3,0		8,4				305	3,15		
5063	QZ				-3,1		8,4				305	3,15		
5064	QZ						8,5					2,97		
5065	QZ				-2,9						292	15,62		
5066	QZ						8,5					2,97		
Média					-2,95		8,22				282,10	9,04		
D. Padr.					0,24		0,59				15,70	6,24		
Min.					-3,50		7,20				247,00	2,20		
Máx.					-2,60		8,90				305,00	15,62		
N					21		13				21	24		

BO-14/Chip 1 - Zona III do pegmatito Boqueirão

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThH ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
8001	QZ				-56,8			8,1	29,6		320	3,71		
8002	QZ				-56,8	-4,2		8,2	30,2		307	3,53		
8003	QZ				-56,7			8,1				3,71		
9007	QZ				-56,7	-4,8		8,4	28,9			3,15		
8008	QZ				-56,8			8,2	29,0			3,53		
8008-b	QZ				-56,6			8,0	29,7			3,90		
8008-c	QZ				-56,6			8,0	29,7			3,90		
8009	QZ				-56,7			8,3	29,1			3,34		
8010	QZ				-56,7			8,3	29,8			3,34		
8011	QZ				-56,7			8,3	29,8		315	3,34		

BO-14/Chip 1 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
8012	Qz				-56,6			8,3	29,2		308	3,34		
8013	Qz				-56,8			8,2	29,7			3,53		
8014	Qz				-56,8			8,5				2,97		
8015	Qz				-56,8			8,3	29,1			3,34		
8016	Qz				-56,8			8,3	29,1			3,34		
8017	Qz				-56,7			8,4	29,7			3,15		
8018	Qz				-56,7			8,2	29,8			3,53		
8019	Qz				-56,8			8,3	28,9			3,34		
9021	Qz							8,5				2,97		
8022	Qz				-56,7			8,5	29,3			2,97		
8023	Qz				-56,7			8,5	29,2		310	2,97		
8024	Qz				-56,8			8,4	29,5		305	3,15		
8201	Qz							8,2	29,6		305	3,53		
8202	Qz							8,2	29,7		310	3,53		
8203	Qz							8,2	29,8		313	3,53		
Média					-56,73	-4,50		8,28	29,47		310,33	3,38		
D.Padr.					0,07	0,42		0,15	0,36		4,95	0,27		
Min.					-56,80	-4,80		8,00	28,90		305,00	2,97		
Max.					-56,60	-4,20		8,50	30,20		320,00	3,90		
Nº					21	2		25	22		9	25		

2.2 - Pegmatito Capoeira 1

CA1 – 1A/Chip 2 – Zona de contato do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1	Gr			50	-57,4			6,6	29,4		282	6,37		
2	Gr			40	-56,9				29,4		>290			
3	Gr			60	-57,2			7,8	29,3		260 a 270	4,26		
4	Gr			60	-57,3			8,2				3,53		
5	Gr													
6	Gr			70	-56,9				29,5		276			
7	Gr			60							265?			

CA1 – 1A/Chip 2 (Continuação)

	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
Média				56,67	-57,14			7,53	29,40			4,72		
D.Padr.				10,33	0,23			0,83	0,08			1,47		
Min.				40,00	-57,40			6,60	29,30			3,53		
Max.				70,00	-56,90			8,20	29,50			6,37		
Nº				6	5			3	4			3		

CA1 – 1A/Chip 3A – Zona de contato do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
30-a	Qz			-56,6				7,2	28,7		368	5,33		
30-b	Qz			-56,8				7,1	26,2		269	5,51		
31	Qz			-56,8				7,0	27,9			5,68		
32-a	Qz			-56,7				7,2	28,0		280	5,33		
32-b	Qz			-56,6				7,1	27,8		365	5,51		
33	Qz			-56,6				7,0	28,5			5,68		
34	Qz			-56,5				7,2	27,8		362	5,33		
36	Qz			-56,7				7,5	28,6			4,80		
39	Qz			-56,7				6,5	27,7			6,53		
45	Qz			-56,4				6,7	28,2		297	6,20		
46	Qz			-56,4				7,0	27,0			5,68		
47	Qz			-56,5				7,0	25,2		328	5,68		
48	Qz			-56,6				7,1	29,6			5,51		
49	Qz			-56,5				7,2	28,7			5,33		
50	Qz			-56,4				7,1	29,1			5,51		
Média				-56,59				7,06	27,93		324,14	5,57		
D.Padr.				0,14				0,23	1,121		42,36	0,40		
Min.				-56,80				6,50	25,20		269,00	4,80		
Max.				-56,40				7,50	29,60		368,00	6,53		
Nº				15				15	15		7	15		

CA1 – 1A/Chip 3B – Zona de contato do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
35	Qz		-48		-21,2					256			23,18	
37	Qz				-16,4					249			19,76	
38	Qz				-18,1					242			21,04	
40	Qz		-51		-22,5					174			24,02	

CA1 – 1A/Chip 3B (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
41	QZ		-52		-22,6					186			24,08	
42	QZ		-52		-22,3					225			23,89	
43	QZ		-50		-19,9					205			22,31	
44a	QZ		-53		-21,2					198			23,18	
44b	QZ		-52		-22,2					186			23,83	
Média			-51,14		-20,71					213,44			22,81	
D.Padr.			1,68		2,18					30,41			1,51	
Min.			-53,00		-22,60					174,00			19,76	
Max.			-48,00		-16,40					256,00			24,08	
Nº			7		9					9			9	

CA1 – 1B/Chip 4 – Limite da zona I com zona II do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1	QZ			25				8,2					3,53	
2	QZ			60	-57,3			7,6	29,5				4,62	
3	QZ			50	-57,2			7,8	29,7				4,26	
4	QZ			60	-57,2			7,8	28,9				4,26	
5	QZ			60	-57,4			7,8	28,6				4,26	
6	QZ			50	-57,3			7,4	29,8				4,98	
7	QZ			60	-57,4			7,1	28,8				5,51	
8	QZ			40	-57,4			7,5	25,4				4,80	
9	QZ			35	-57,2			7,3	29,4				5,16	
10	QZ			25										
11	QZ			50	-57,3			6,5	29,1				6,53	
12	QZ			25				7,6					4,62	
13	QZ			60	-57,3			6,8	27,7				6,02	
Média				46,15	-57,30			7,45	28,69				4,88	
D.Padr.				14,46	0,08			0,47	1,31				0,83	
Min.				25,00	-57,40			6,50	25,40				3,53	
Max.				60,00	-57,20			8,20	29,80				6,53	
Nº				13	10			12	10				12	

CA1 – 1B/Chip 4 – Limite da zona I com zona II do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
21	QZ		-45		-19,4					155			21,96	

CA1 – 1B/Chip 4 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
22	Qz													
23	Qz				-1,1					134			1,91	
24	Qz				-11,0					208			14,97	
25	Qz		-40		-15,4					198			18,96	
26	Qz				-15,3					206			18,88	
27	Qz				-15,6					140			19,13	
28	Qz				-14,4					128			18,13	
29	Qz				-13,6					178			17,43	
30a	Qz		-41		-15,3					192			18,88	
31	Qz		-40		-15,1					148			18,72	
32	Qz		-43		-16,9					214			20,15	
27b	Qz		-45		-15,8					148			19,29	
23b	Qz				-0,9					140			1,57	
28	Qz		-40		-15,0					128			18,63	
29	Qz		-45		-16,1					190			19,53	
30b	Qz				-15,4					195			18,96	
31a	Qz				-10,5					165			14,46	
31b	Qz				-10,4					148			14,36	
32a	Qz				-13,18					167,50			16,44	
Média			-42,38							29,95			5,69	
D.Padr.			2,39		4,96					128,00			1,57	
Min.			-45,00		-19,40					214,00			21,96	
Max.			-40,00		-0,90					18			18	
Nº			8		18									

CA1 – 1B/Chip 6 – Limite da zona I com zona II do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1	Tur			50	-57,1			7,8	29,5					
2	Tur			60	-57,2				27,9					
3	Tur			70	-57,2							4,26		
4	Tur			50	-57,3				28,8					
5	Tur			60	-57,4				29,0					
6	Tur			70	-57,3				27,9					

CA1 – 1B/Chip 6 (Continuação)

	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
Média				60,00	-57,25			7,80	28,62			4,26		
D.Padr.				8,94	0,10				0,70					
Min.				50,00	-57,40			7,80	27,90			4,26		
Max.				70,00	-57,10			7,80	29,50			4,26		
Nº				6	6			1	5			1		

CA1 – 1B/Chip 7 – Limite da zona I com zona II do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1	Tur			50	-60,0				28,9					
2	Tur			60	-58,9				27,1					
3	Tur				-59,6				28,3					
4	Tur				-59,8				27,6					
5	Tur				-58,8				27,2					
6	Tur			40					28,8					
7	Gra			50	-57,1									
8	Tur			50	-58,4				29,5					
Média				50,00	-58,94				28,20					
D.Padr.				7,07	1,00				0,92					
Min.				40,00	-60,00				27,10					
Max.				60,00	-57,10				29,50					
Nº				5	7				7					

CA1 – 6/Chip 1 – pegmatito gráfico (zona II) do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1308	Qz			95	-57,1				25,1					
1309	Qz			70	-57,0			6,6	28,9			6,37		
1310	Qz			50	-57,2			6,2	29,0			7,04		
1311	Qz			80	-57,0									
1312	Qz			70	-57,1				29,5					
1313	Qz			100	-57,0				26,1					
1314	Qz			40	-56,9				27					
1315	Qz			50	-56,9				26,0					
1316	Qz			60	-56,9				24,1					
1317	Qz				-56,9			6,4	25,4			6,70		
1318	Qz			50	-56,8			8,1	28,1			3,71		

CA1 – 6/Chip 1 (Continuação)

Incl. N°.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1319	Qz			40	-56,8				27,3					
1320	Qz			70	-56,8				24,5					
1321	Qz			90	-56,9				24,9					
1322	Qz			90	-56,9			8,2	24,9			3,53		
1323	Qz			60	-56,8				27,6					
1324	Qz			60	-56,9			8,2	27,2			3,53		
1325	Qz			50	-56,9				28,1					
1326	Qz			100					12,0					
1327	Qz			100	-57,1				21,0					
1328	Qz			100	-57,1				18,9					
1329	Qz			60	-57,1			8,0	26,7			3,90		
1330	Qz			40	-57,0			7,8	27,4			4,26		
1331	Qz			40	-57,1			8,0	27,5			3,90		
1332	Qz			60	-57,0				27,5					
1333	Qz			50	-56,9				28,1					
1334	Qz			80	-57,1			8,1	27,1			3,71		
1335	Qz			30	-57,0			8,2	29,7		202	3,53		
1336	Qz			60	-56,9			8,4	27,4			3,15		
1337	Qz			60	-56,8			8,4	26,1			3,15		
1338	Qz			70	-56,8			8,3	25,5			3,34		
1339	Qz			95	-57,7			8,1	17,5			3,71		
1340	Qz			70	-56,9				26,4					
1341	Qz			95	-56,9			7,9	24,9			4,08		
1342	Qz			80	-56,8			8,0				3,90		
1343	Qz			60	-57,0			8,1	27,5			3,71		
1344	Qz			50					26,9					
1345	Qz			50	-57,0			8,1	28,9			3,71		
1346	Qz			80	-56,8			8,2	28,3			3,53		
1347	Qz			30	-56,8				29,8					
1348	Qz			50	-57,2				28,2					
1349	Qz			50	-56,9				28,3					
1350	Qz			70	-56,9			7,9	28,7			4,08		
1351	Qz			70	-56,9			8,1	28,7			3,71		
1352	Tur				-57,4				28,6					
1353	Tur			35	-57,4				29,0					
1354	Tur			45	-57,4				29,0					
1355	Tur			45	-57,1				29,0					

CA1 – 6/Chip 1 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1356	Tur			35	-57,2				29,5					
1357	Tur			55	-57,0				29,3					
1358	Tur			40					28,9					
1359	Tur								29,1					
1360	Tur			50	-56,9				29,1					
1361	Tur			60	-56,9				28,6					
Média				62,55	-56,99		7,88	26,78		202,00	4,10			
D.Padr.				20,18	0,18		0,62	3,26			1,10			
Min.				30,00	-57,70		6,20	12,00		202,00	3,15			
Max.				100,00	-56,80		8,40	29,80		202,00	7,04			
Nº				51	49		22	52		1	22			

CA1 – 6/Chip 2 – pegmatito gráfico (zona II) do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2025	Qz							8,2				3,53		
2026	Qz				-3,4			8,2		221		3,53	5,56	
2027	Qz				-3,5			8,3		220		3,34	5,71	
2028	Qz							8,5				2,97		
2029	Qz				-3,5			8,2		221		3,53	5,71	
Média					-3,47			8,28		220,67		3,38	5,66	
D.Padr.					0,06			0,13		0,58		0,24	0,09	
Min.					-3,50			8,20		220,00		2,97	5,56	
Max.					-3,40			8,50		221,00		3,53	5,71	
Nº					3			5		3		5	3	

CA1 – 6/Chip 3 – pegmatito gráfico (zona II) do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
3028	Qz					-2,9				226			4,80	
3029	Qz					-2,9				217			4,80	
3030	Qz									216				
3031	Qz									221				
3032	Qz		-25			-2,7				204			4,49	

CA1 – 6/Chip 3 (Continuação)

	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	TfgeLo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
Média			-25		-2,83					216,80			4,70	
D.Padr.					0,09					7,30			0,15	
Min.			-25		-2,90					204,00			4,49	
Max.			-25		-2,70					226,00			4,80	
Nº			1		3					5			3	

CA1 – 6/Chip 4 – pegmatito gráfico (zona II) do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	TfgeLo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
5005	Qz				-4,2					146			6,74	
5006	Qz									154				
5007	Qz		-22		-2,2					141			3,71	
Média			-22,00		-3,20					147,00			5,22	
D.Padr.					1,41					6,56			2,14	
Min.			-22,00		-4,20					141,00			3,71	
Max.			-22,00		-2,20					154,00			6,74	
Nº			1		2					3			2	

CA1 – 11B/Chip 4 – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	TfgeLo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1021	Qz1		-45		-22,4		-15,7			294			23,95	19,21
1022	Qz1		-40		-22,1		-15,1			215			23,76	18,72
1023	Qz1		-33		-20,6		-8,8			214			22,78	12,62
1024	Qz1		-38		-20,6								22,78	
1025	Qz1		-55		-22,5								24,02	
1026	Qz1		-56		-25,0								25,58	
1027	Qz1		-55		-24,4					229			25,21	
1028	Qz1		-55		-25,5					207			25,88	
1029	Qz1		-65		-25,4					258			25,82	
Média			-49,11		-23,17		-13,20			236,217			24,42	16,85
D.Padr.			10,53		1,96		3,82			33,80			1,24	3,67
Min.			-65,00		-25,50		-15,70			206,80			22,78	12,62
Max.			-33,00		-20,60		-8,8			294,30			25,88	19,21
Nº			9		9		3			6			9	3

CA1 – 11B/Chip 4 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
3009	Qz2		-53		-22,2					221			23,83	
3010	Qz2		-58		-22,7					210			24,15	
3011	Qz2		-42		-21,5								23,37	
3012	Qz2		-59		-24,5					195			25,27	
3013	Qz2		-62		-24,4					195			25,21	
3014	Qz2		-60		-24,7								25,39	
3015	Qz2		-45		-22,3					202			23,89	
3016	Qz2		-46				-14,1			198				17,87
3017	Qz2						-14,6			204				18,30
3018	Qz2		-48		-21,3					206			23,24	
3019	Qz2		-48				-14,6			203				18,30
3020	Qz2		-48		-20,6					202			22,78	
Média			-52,95		-22,56		-13,85			201,08			24,04	17,63
D.Padr.			7,43		1,47		1,19			8,79			0,94	1,07
Min.			-62,00		-24,70		-14,60			182,40			22,78	16,05
Max.			-35,00		-20,60		-12,10			221,40			25,39	18,30
Nº			19		16		4			14			16	4

CA1 – 11C/Chip 2C – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1001	Qz				-56,9			8,5	29,8				2,97	
1002	Qz				-56,7			8,2	29,5				3,53	
1003	Qz				-56,6			8,1	29,7		292		3,71	
1004	Qz				-56,6			8,2	29,6		290		3,53	
1005	Qz							8,1	29,5		297		3,71	
1006	Qz				-56,7			8,6	29,4		290		2,78	
1007	Qz				-56,7			8,2	29,4		296		3,53	
1008	Qz							8,4	28,8		299		3,15	
1009	Qz							8,3	28,8		261		3,34	
1010	Qz							8,4			259		3,15	
1011	Qz							8,3	29,8		298		3,34	
1012	Qz							8,2	29,7		299		3,53	
1013	Qz							8,6	29,4				2,78	
1014	Qz							8,3	29,6				3,34	
1015	Qz							8,4	28,9		297		3,15	
1016	Qz							8,5	28,8		305		2,97	

CA1 – 11C/Chip 2C (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1017	Qz							8,4			301	3,15		
Média					-56,70			8,335	29,38		291,08	3,27		
D.Padr.					0,11			0,16	0,37		14,42	0,30		
Min.					-56,90			8,10	28,80		259,00	2,78		
Max.					-56,60			8,60	29,80		305,00	3,71		
Nº					6			17	15		13	17		

CA1 – 11C/Chip 2C – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
3010-b	Qz		-21			-11,7							15,67	
3010-c	Qz		-20			-10,6							14,57	
3018	Qz		-45			-12,2				181			16,15	
3019	Qz		-50			-25,8				200			26,07	
3020	Qz					-10,8							14,77	
3021	Qz		-50			-12,3				175			16,24	
3022	Qz		-45			-12,0							15,96	
3023	Qz		-50			-12,7				204			16,62	
3024	Qz		-50			-14,5				194			18,22	
3025	Qz		-55			-25,1				202			25,64	
3026	Qz		-55			-25,2				192			25,70	
3027	Qz		-50			-13,1				181			16,99	
3028	Qz		-45			-12,9				165			16,80	
3029	Qz					-22,2				167			23,83	
3032	Qz					-19,6				181			22,10	
3033	Qz					-3,5		8,6		260		2,78	5,71	
3034	Qz					-3,5		8,6		255		2,78	5,71	
3035	Qz									250				
3036	Qz					-3,4		8,8				2,39	5,56	
3037	Qz		-55			-24,1				199			25,02	
3038	Qz		-55			-22,8				204			24,21	
3039	Qz		-55			-22,7				186			24,15	
3040	Qz					-23,7				197			24,77	
3041	Qz					-24,0				183			24,96	
3042	Qz					-24,2							25,08	
3043	Qz					-25,3				185			25,76	

CA1 – 11C/Chip 2C (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
3044	Qz				-23,0					183			24,34	
3045	Qz				-22,5					192			24,02	
3046	Qz				-22,5					207			24,02	
3047	Qz				-23,5					199			24,65	
3048	Qz				-18,8					198			21,54	
3049	Qz				-15,0					205			18,63	
3050	Qz				-19,2					196			21,82	
3051	Qz				-24,9					189			25,52	
3052	Qz				-25,0					202			25,58	
3053	Qz				-24,9					205			25,52	
3054	Qz				-27,8					209			27,29	
3055	Qz				-25,5					192			25,88	
3057	Qz				-18,5					207			21,33	
3058	Qz				-24,5					149			25,27	
3059	Qz				-25,5					183			25,88	
3060	Qz				-24,7					196			25,39	
3061	Qz				-21,7								23,50	
3062	Qz				-22,5								24,02	
3063	Qz				-21,5								23,37	
3064	Qz				-25,3								25,76	
3065	Qz				-18,5								21,33	
Média			-46,73		-19,42			8,667		196,47		2,65	21,32	
D.Padr.			11,28		6,59			0,12		22,20		0,22	5,59	
Min.			-55		-27,80			8,60		149,00		2,39	5,56	
Max.			-20		-3,40			8,80		260,00		2,78	27,29	
Nº			15		46			3		36		3	46	

CA1 – 11C/Chip 3 – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2001	Qz		-55		-22,2					221			23,83	
2002	Qz													
2003	Qz				-14,2					219			17,96	
2004	Qz		-55		-24,6					218			25,33	
2005	Qz				-24,8					218			25,46	
2006	Qz				-25,4					218			25,82	
2007	Qz				-25,2					218			25,70	

CA1 – 11C/Chip 3 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2008	Qz				-24,0					216			24,96	
2009	Qz				-21,6					215			23,44	
2010	Qz				-22,0					215			23,70	
Média			-55,00		-22,67					217,56			24,02	
D.Padr.			0,00		3,49					1,94			2,45	
Min.			-55,00		-25,40					215,00			17,96	
Max.			-55,00		-14,20					221,00			25,82	
Nº			2		9					9			9	

CA1 – 12A/Chip 1 – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
8	Qz				-56,6			8,6	30,1		296	2,78		
9	Qz				-56,6			8,6	30,1		296	2,78		
10	Qz								30,2					
11	Qz				-56,5			8,5	30,1		301	2,97		
12	Qz				-56,6			8,5	30,1		298	2,97		
13	Qz				-56,6			8,5	30,1			2,97		
14	Qz				-56,6			8,5	30,1		301	2,97		
14-a	Qz							8,5			301	2,97		
14-b	Qz							8,7			301	2,59		
15	Qz				-56,6			8,5	30,0		305	2,97		
16	Qz				-56,6			8,5	30,0		303	2,97		
17	Qz										294			
17-a	Qz							8,6				2,78		
18	Qz							8,6	30,1			2,78		
19	Qz							8,6				2,78		
20	Qz							8,6	30,2		295	2,78		
21	Qz							8,6	30,4		297	2,78		
22	Qz							9,0				2,01		
23	Qz							8,6	30,0			2,78		
24	Qz							8,6	30,1		220	2,78		
25	Qz							9,0				2,01		
26	Qz							8,6	30,1			2,78		
28	Qz							8,6	30,1		296	2,78		
29	Qz							8,6	30,1		296	2,78		
30	Qz				-56,7			8,6	30,0		312	2,78		
31	Qz							8,6	30,0			2,78		

CA1 – 12A/Chip 1 (Continuação)

Incl. N°.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TFCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
32	Qz							8,6	30,1		312	2,78		
33	Qz							8,6	30,0			2,78		
34	Qz				-56,8			8,6	30,0			2,78		
35	Qz							8,6	30,1			2,78		
36	Qz							8,8	30,2		299	2,39		
37	Qz				-56,8			8,6	30,1		301	2,78		
38	Qz							8,6	30,1		293	2,78		
39	Qz							8,6	30,1			2,78		
40	Qz							8,6	30,1		297	2,78		
41	Qz				-56,6			8,6	30,1			2,78		
42	Qz							8,6	30,1			2,78		
43	Qz							8,4	30,0		297	3,15		
44	Qz				-56,8			8,6	30,1		296	2,78		
45	Qz							8,7	30,6			2,59		
46	Qz							8,7	30,0			2,59		
47	Qz				-56,8			8,8	30,0		306	2,39		
48	Qz							8,6	30,0		311	2,78		
49	Qz				-56,8			8,6	30,0		310	2,78		
50	Qz							8,6	30,9		307	2,78		
51	Qz				-56,7			8,9			312	2,20		
52	Qz							8,9	30,5		315	2,20		
53	Qz				-56,8			8,9	31,2		313	2,20		
54	Qz							8,9				2,20		
55	Qz				-56,8			8,9				2,20		
56	Qz				-56,8			8,6	30,1		297	2,78		
57	Qz							8,8	30,0			2,39		
58	Qz				-56,8			8,6	30,1			2,78		
59	Qz				-56,8			9,0	30,2		295	2,01		
Média					-56,70			8,65	30,15		299,03	2,68		
D.Padr.					0,10			0,14	0,24		15,83	0,27		
Min.					-56,80			8,40	30,00		220,30	2,01		
Max.					-56,50			9,00	31,20		315,00	3,15		
N°					21			52	44		32	52		

CA1 – 12A/Chip 1 – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. N°.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TFCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
60	Qz					-3,2								
61	Qz					-3,8								
										202				6,16

CA1 – 12A/Chip 1 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgeolo	Tffhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
126	Ap		-36		-24,4					261			25,21	
Média			-36,00		-23,22	-9,00				234,63			23,81	12,84
D.Padr.					6,60	0,71				55,46			6,45	0,79
Min.			-36,00		-26,40	-9,50				151,70			2,41	12,28
Max.			-36,00		-1,40	-8,50				268,20			26,44	13,40
Nº			1		13	2				4			13	2

CA1 – 12A/Chip 2 – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgeolo	Tffhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
150	Ap		<-50		-23,8								24,84	
151	Ap		<-50		-26,8								26,68	
152	Ap				-9,5								13,40	
153	Ap				-24,3								25,15	
154	Ap		<-45		-12,5								16,43	
155	Ap		<-45		-7,7								11,34	
156	Ap		<-40		-12,5								16,43	
Média					-16,73								19,18	
D.Padr.					7,94								6,24	
Min.					-26,80								11,34	
Max.					-7,70								26,68	
Nº					7								7	

CA1 – 12B/Chip C – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgeolo	Tffhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1001	Qz1		-16		-2,3					213			3,87	
1002	Qz1		-14		-2,5					227			4,18	
1003	Qz1		-18		-2,3					225			3,87	
1004	Qz1		-20		-1,3					208			2,24	
1005	Qz1		-22		-2,1					226			3,55	
1008	Qz1				-3,8					196			6,16	
1009	Qz1				-2,9					207			4,80	
1010	Qz1				-2,0					215			3,39	
1011	Qz1				-3,0					207			4,96	
1013	Qz1				-0,7								1,22	
1015	Qz1				-2,3					215			3,87	

CA1 – 12B/Chip C (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1016	Qz1		-54							216				
1017	Qz1		-54		-23,1					215			24,40	
1018	Qz1		-52		-23,3					216			24,52	
1019	Qz1		-52		-22,0					218			23,70	
1020	Qz1		-55		-22,9					216			24,27	
1021	Qz1				-24,0					217			24,96	
1022	Qz1				-21,5					226			23,37	
1023	Qz1		-55		-23,3					216			24,52	
1024	Qz1		-54		-22,1					225			23,76	
1025	Qz1		-54		-22,0					224			23,70	
1026	Qz1		-52		-21,4		-7,8			216			23,31	11,46
Média			-40,86		-11,94		-7,80			216,43			13,46	
D.Padr.			17,79		10,41					7,69			10,40	
Min.			-55,00		-24,00		-7,80			196,20			1,22	
Max.			-14,00		-0,70		-7,80			227,10			24,96	
Nº			14		21		1			21			21	

CA1 – 12B/Chip C – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2027	Qz2		-59		-25,5					212			25,88	
2028	Qz2		-59		-24,2					213			25,08	
2029	Qz2		-60		-24,0					206			24,96	
2030	Qz2		-55		-26,0					202			26,19	
2031	Qz2		-57		-22,4								23,95	
2032	Qz2		-59		-20,0					207			22,38	
2033	Qz2		-60		-22,6					207			24,08	
2034	Qz2		-60		-22,4					208			23,95	
2035	Qz2		-58		-21,9					210			23,63	
2036	Qz2		-50		-22,5								24,02	
2037	Qz2		-61		-23,5					205			24,65	
2038	Qz2		-50		-20,0					197			22,38	
2039	Qz2		-51		-19,7					201			22,17	
2040	Qz2		-48		-21,6								23,44	
2041	Qz2		-50		-9,9								13,83	
2042	Qz2		-48		-8,6								12,39	
2043	Qz2		-44		-15,0								18,63	

CA1 – 12B/Chip C (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2044	Qz2		-48			-15,9							19,37	
Média			-54,28			-20,32				205,99			22,28	
D.Padr.			5,54			4,94				4,75			3,87	
Min.			-61,00			-26,00				196,60			12,39	
Max.			-44,00			-8,60				212,90			26,19	
Nº			18			18				11			18	

CA1 – 12B/Chip C – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
3045	Ap		-48			-18,0							20,97	
3046	Ap		-45			-21,0				202,5			23,05	
3047	Ap		-44			-20,0							22,38	
3048	Ap		-43			-18,2				203,9			21,11	
3049	Ap		-45			-20,0	-6,5						22,38	9,86
3050	Ap		-42			-19,2	-6,2			204			21,82	9,47
3051	Ap		-45			-19,0	-9,0						21,68	12,85
3052	Ap		-45			-18,0	-8,8						20,97	12,62
3053	Ap		-54			-22,1	-8,2			225,3			23,76	11,93
3054	Ap		-53			-23,0	-8,0			216			24,34	11,70
3055	Ap		-52			-21,2	-7,7			224			23,18	11,34
3056	Ap		-53			-22,4	-7,8						23,95	11,46
Média			-47,64			-20,18	-7,78			212,62			22,47	11,43
D.Padr.			4,52			1,76	0,99			10,53			1,19	1,20
Min.			-54,00			-23,00	-9,00			202,50			20,97	9,47
Max.			-42,00			-18,00	-6,20			225,30			24,34	12,85
Nº			11			12	8			6			12	8

CA1 – 12B/Chip C – zona III do pegmatito Capoeira 1

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
4057	Qz1				-56,7			8,8	29,9			2,39		
4058	Qz1				-56,6			7,8	30,0		303	4,26		
4059	Qz1				-56,7			8,5	29,8		301	2,97		
4060	Qz1				-56,6			8,5	29,8		302	2,97		

CA1 – 12B/Chip C (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTmice	SalTmice2
4061	Qz1				-56,7			8,6	29,9		302		2,78
4062	Qz1				-56,6			8,6	29,9		302		2,78
4063	Qz1				-56,6			8,7	29,7		300		2,59
4064	Qz1				-56,8			8,7	29,4		297		2,59
4065	Qz1				-57,2			8,6	29,6		300		2,78
4066	Qz1				-56,7			8,8	30,0		301		2,39
4067	Qz1				-56,7	-3,1		8,6	29,8		302		2,78
4068	Qz1				-56,7			8,7	30,3		300		2,59
4069	Qz1				-56,7	-3,1		8,6	30,1				2,78
4070	Qz1				-56,7			8,8	30,2		301		2,39
4071	Qz1				-56,7	-3,2		8,7	30,0				2,59
4072	Qz1				-56,6			8,7	30,1		301		2,59
4073	Qz1				-56,7			8,8	30,2		301		2,39
4074	Qz1				-56,8	-3,3		8,6	30,2				2,78
4075	Qz1				-56,8			8,8	30,1				2,39
4076	Qz1				-56,6			8,6	30,1		301		2,78
4077	Qz1				-56,7	-3,1		8,7	30,1		304		2,59
4078	Qz1				-56,7			8,7	29,7		300		2,59
4079	Qz1				-56,7			8,8	30,0		300		2,39
4080	Qz1				-56,7			8,6	30,2				2,78
4081	Qz1				-56,6			8,7	30,0		301		2,59
4082	Qz1				-56,7			8,6	29,8		302		2,78
4083	Qz1				-56,9			8,6	28,8		295		2,78
4084	Qz1				-56,7			8,6	28,9				2,78
4085	Qz1				-56,6	-3,1		8,7	30,1				2,59
4086	Qz1				-56,6			8,6	30,1		300		2,78
4087	Qz1				-56,6			8,7	30,0				2,59
4088	Qz1				-56,8			8,7	30,0				2,59
4089	Qz1				-56,6			8,5	30,0				2,97
4090	Qz1			45	-56,6			8,6	29,9		299		2,78
4091	Qz1				-56,6	-3,5		8,6	30,0				2,78
4092	Qz1				-56,7	-3,2		8,4	30,0		301		3,15
4093	Qz1				-56,7			8,3	29,7				3,34
4094	Qz1				-56,7			8,4	30,1				3,15
4095	Qz1				-56,7			8,5	29,8		303		2,97
4096	Qz1				-56,6			8,6	30,0		297		2,78
4097	Qz1			45	-56,6				30,0				

CA1 – 12B/Chip C (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
4098	Qz1			45	-56,7	-3,1		8,7	30,1		301	2,59		
4099	Qz1				-56,6	-3,4		9,6	30,0		299	0,82		
4100	Qz1				-56,6	-3,2		9,0	30,2		301	2,01		
4101	Qz1				-56,8	-3,1		8,9	30,2			2,20		
4102	Qz1			50	-56,7			9,0	30,0		300	2,01		
4103	Qz1				-56,8	-2,6		8,3	29,9			3,34		
4104	Qz1				-56,6			8,8	30,3			2,39		
4105	Qz1				-56,7			8,9	30,1			2,20		
4106	Qz1			45	-56,7			9,0				2,01		
4107	Qz1				-56,6			8,4	30,1		298	3,15		
4108	Qz1				-56,6			8,6				2,78		
4109	Qz1			45	-56,7	-3,2		8,7	30,2			2,59		
4110	Qz1			45	-56,7			7,9	29,9		299	4,08		
4111	Qz1				-56,6			8,5	30,4			2,97		
4112	Qz1			50	-56,7			8,7	30,1			2,59		
4113	Qz1			50	-56,6			9,0				2,01		
4114	Qz1				-56,6									
4115	Qz1				-56,6			9,0	30,2			2,01		
Média				46,67	-56,68	-3,157		8,66	29,96		300,41	2,67		
D.Padr.				2,50	0,10	0,20		0,257	0,29		1,76	0,49		
Min.				45,00	-57,20	-3,50		7,80	28,80		295,40	0,82		
Max.				50,00	-56,60	-2,60		9,60	30,40		303,80	4,26		
Nº				9	59	14		57	55		32	57		

2.3 - Pegmatito Quintos

QB – 1/Chip 2 – zona I do pegmatito Quintos

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1001	Qz					-1,5				190			2,57	
1002	Qz					-1,6				179			2,74	
1003	Qz					-1,4				186			2,41	
1004	Qz					-1,6				180			2,74	
1005	Qz					-1,6				181			2,74	
1006	Qz					-1,5				190			2,57	
1007	Qz					-1,8				180			3,06	
1008	Qz					-1,6				181			2,74	

QB – 1/Chip 2 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1009	Qz		-26		-1,5					182			2,57	
1010	Qz				-1,5					180			2,57	
1011	Qz		-25		-1,5								2,57	
1012	Qz		-25		-1,6					182			2,74	
1013	Qz				-1,5					183			2,57	
1014	Qz				-1,6					181			2,74	
1015	Qz		-20		-1,5					180			2,57	
1016	Qz				-1,5					183			2,57	
1017	Qz		-25		-1,6					181			2,74	
1018	Qz		-26		-1,4								2,41	
1019	Qz				-1,7					189			2,90	
1020	Qz				-1,7					182			2,90	
1021	Qz				-1,6					180			2,74	
1022	Qz				-1,5					177			2,57	
1023	Qz				-1,7					178			2,90	
1024	Qz		-23		-1,6					180			2,74	
1025	Qz				-1,5								2,57	
1026	Qz		-22		-1,5								2,57	
1027	Qz		-21		-1,5					193			2,57	
Média			-23,67		-1,56					182,44			2,67	
D.Padr.			2,24		0,09					4,16			0,15	
Min.			-26,00		-1,80					176,60			2,41	
Max.			-20,00		-1,40					192,70			3,06	
Nº			9		27					23			27	

QB – 1/Chip 2 – zona I do pegmatito Quintos

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2001	Qz			50	-56,8				22,3		310			
2002	Qz			50	-56,7			8,4	25,4		319		3,15	
2003	Qz				-56,9			8,8	26,4		300		2,39	
2004	Qz			50	-56,8				22,5		305			
2005	Qz				-57,0				20,9		303			
2006	Qz				-56,9				25,8		309			
2007	Qz				-56,8			8,0	21		305		3,90	

QB – 1/Chip 2 (Continuação)

Incl. N.º	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2008	QZ			50	-56,8			9,1	22,9		309	1,81		
2009	QZ			40	-56,7				20,8		311			
2010	QZ				-57,0			8,6	21,7			2,78		
2011	QZ				-56,7			8,2	24,5		305	3,53		
2012	QZ			50	-56,7			8,0	24,8		310	3,90		
2013	QZ			40	-56,7			8,4	24,3		322	3,15		
2014	QZ				-56,6				23,3		311			
2015	QZ				-56,6				22,8		305			
2016	QZ				-56,7			8,5	20,4		308	2,97		
2017	QZ				-56,8			8,2	22,9			3,53		
2018	QZ				-56,7				22,7		306			
2019	QZ				-56,8				21,7		308			
2020	QZ			50	-57,0			8,9	20,4			2,20		
2021	QZ				-56,9				24,5					
2022	QZ				-56,8			9,1	22,8		327	1,81		
2023	QZ				-56,8				21,8		310			
2024	QZ				-56,7				20,3		307			
2025	QZ				-56,8			9,0	26,6			2,01		
2026	QZ				-56,9				25,5					
2027	QZ			50	-57,0			8,9	26,7		313	2,20		
2028	QZ				-56,9				21		307			
2029	QZ				-56,9				21,6		311			
2030	QZ				-56,8			8,7	25,7		313	2,59		
Média				47,78	-56,81			8,59	23,13		309,70	2,79		
D.Padr.				4,41	0,11			0,38	2,04		6,01	0,72		
Min.				40,00	-57,00			8,00	20,30		299,60	1,81		
Max.				50,00	-56,60			9,10	26,70		327,30	3,90		
Nº				9	30			15	30		24	15		

QB – 1/Chip 3A – zona I do pegmatito Quintos

Incl. N.º	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1028	QZ					-1,9				184			3,23	
1029	QZ					-2,2							3,71	
1030	QZ					-2,4				178			4,03	
1031	QZ					-2,2				179			3,71	
1032	QZ			-20		-1,9				177			3,23	

QB – 1/Chip 3A (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgeolo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1033	Qz				-1,6								2,74	
1034	Qz				-1,7					190			2,90	
1035	Qz		-22		-1,8					182			3,06	
1036	Qz		-21		-1,7					183			2,90	
1037	Qz				-1,8								3,06	
1038	Qz		-20		-1,8					181			3,06	
1039	Qz				-2,0					189			3,39	
1040	Qz				-1,7					190			2,90	
1041	Qz				-1,8					188			3,06	
1042	Qz				-1,9					181			3,23	
1043	Qz				-2,0					190			3,39	
1044	Qz				-2,0					187			3,39	
1045	Qz		-25		-2,0					178			3,39	
1046	Qz				-2,1								3,55	
1047	Qz		-22		-2,1					179			3,55	
1048	Qz				-1,7								2,90	
1049	Qz		-20		-1,8								3,06	
1050	Qz				-1,7					183			2,90	
Média			-21,42		-1,90					183,44			3,23	
D.Padr.			1,81		0,20					4,63			0,32	
Min.			-25,00		-2,40					177,40			2,74	
Max.			-20,00		-1,60					190,20			4,03	
Nº			7		23					17			23	

QB – 1/Chip 3A – zona I do pegmatito Quintos

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgeolo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2031	Qz				-56,8			8,4	22,6		301	3,15		
2032	Qz			50	-56,7				20,8		301			
2033	Qz			50	-56,8			8,9	22,4		305	2,20		
2034	Qz				-56,8				20,1		302			
2035	Qz			50	-56,7			9,2	23,8		299	1,62		
2036	Qz				-56,7			8,8	20,2		298	2,39		
2037	Qz				-56,7				21,2		301			
2038	Qz				-56,7				20,0		297			
2039	Qz				-56,9			8,9	26,4		304	2,20		
2040	Qz				-56,8			10,1	24,9		309	(0,19)		

QB – 1/Chip 3A (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2041	QZ				-56,8			9,9	26,2			0,22		
2042	QZ				-57,0				21,7		301			
2043	QZ				-57,1			9,8	20,9			0,42		
2044	QZ			50	-57,0				21,5					
2045	QZ				-56,9			9,3	24,4		312	1,42		
2046	QZ				-56,9				25,3		314			
Média				50,00	-56,83			9,26	22,65		303,25	1,49		
D.Padr.				0	0,13			0,57	2,21		5,34	1,13		
Min.				50,00	-57,10			8,40	20,00		297,30	(0,19)		
Max.				50,00	-56,70			10,10	26,40		313,80	3,15		
Nº				4	16			9	16		13	9		

QB – 1/Chip 4A – zona I do pegmatito Quintos

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1051	QZ				-1,7					188			2,90	
1052	QZ		-21		-1,8					190			3,06	
1053	QZ				-2,0					183			3,39	
1054	QZ				-1,8					179			3,06	
1055	QZ		-20		-1,8					181			3,06	
1056	QZ		-20		-1,7					189			2,90	
1057	QZ				-1,8					181			3,06	
1058	QZ		-21		-1,5					181			2,57	
1059	QZ				-1,7					180			2,90	
1060	QZ				-1,9					178			3,23	
1061	QZ		-20		-1,8					189			3,06	
1062	QZ				-1,8					183			3,06	
1063	QZ				-1,8					183			3,06	
1064	QZ		-21		-2,0								3,39	
1065	QZ		-20		-2,2					190			3,71	
1066	QZ		-19		-2,0					188			3,39	
Média			-20,25		-1,83					184,41			3,11	
D.Padr.			0,71		0,16					4,58			0,26	
Min.			-21,00		-2,20					177,60			2,57	
Max.			-19,00		-1,50					190,30			3,71	
Nº			8		16					13			16	

QB – 1/Chip 4A – zona I do pegmatito Quintos

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2048	QZ				-56,7			8,7	22,5		300	2,59		
2049	QZ				-56,7				22,5					
2050	QZ				-56,8				22,8		302			
2051	QZ			40	-56,9			8,5	26,9		310	2,97		
2052	QZ			50	-56,9				20,8		306			
2053	QZ				-56,7			8,2	20,9		301	3,53		
2054	QZ				-56,7			8,5	24		302	2,97		
2055	QZ				-56,8				24,4		305			
2056	QZ				-56,8				24,2		299			
2057	QZ				-56,7				24,7		299			
2058	QZ				-56,7				20,2		296			
2059	QZ				-56,7		9		21,6		300	2,01		
2060	QZ				-56,9				20,9		310			
2061	QZ			45	-56,8			9,2	22,3		309	1,62		
2062	QZ				-56,8				25,7		301			
2063	QZ				-56,8				21		296			
2064	QZ			45	-56,8				22,4		312			
2065	QZ			45	-56,7			9,2	22,3		311	1,62		
2066	QZ				-56,9				21,9		304			
2067	QZ				-56,6				20					
2068	QZ				-56,6			8,8	25,7		301	2,39		
2069	QZ				-56,7				25		300			
2070	QZ			50	-56,8				23,4		301			
2071	QZ				56,8			8,6	22,5		300	2,78		
2072	QZ				-56,7			8,9	20,6		316	2,20		
2073	QZ			40	-56,7				22,7					
2074	QZ			45	-56,7				22,4		312			
2075	QZ			45	-56,6			8,4	21,7		310	3,15		
2076	QZ				-56,8			8,4	22,8		312	3,15		
2077	QZ			50	-56,8			8,2	26,1		304	3,53		
2078	QZ				-56,9				25,7		307			
2079	QZ				-56,9				20,6		303			
2080	QZ				-56,8			8,5	24,9		300	2,97		

QB – 1/Chip 4A (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2081	Qz				-56,8			8,5	25,2			2,97		
Média				45,50	-53,42			8,64	22,98		304,19	2,70		
D.Padr.				3,69	19,48			0,32	1,91		5,33	0,61		
Min.				40,00	-56,90			8,20	20,00		296,00	1,62		
Max.				50,00	56,80			9,20	26,90		315,60	3,53		
Nº				10	34			15	34		30	15		

QB – 1A/Chip 1 – zona I do pegmatito Quintos

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1047	Qz				-56,7			9,8	22,1		305	0,42		
1048	Qz				-56,7			9,7	22,7		305	0,62		
1049	Qz				-56,7			9,7	25,7		305	0,62		
1050	Qz				-56,9			9,4	22,9		307	1,22		
1051	Qz				-56,8			8,9	22,7		311	2,20		
1052	Qz				-56,7			8,9	24,8		320	2,20		
1053	Qz				-57,0			8,9	21,7		315	2,20		
1054	Qz				-56,8			8,9	25,6		320	2,20		
1055	Qz				-56,7			8,8	26,8		325	2,39		
1056	Qz				-56,7			8,8	20,7		317	2,39		
1057	Qz				-56,7			8,8	24,9		318	2,39		
1058	Qz				-56,9			8,7	24,8		315	2,59		
1059	Qz				-56,8			8,5	25,7			2,97		
1060	Qz			40	-56,8			8,4	25,8		310	3,15		
1061	Qz				-56,9			8,3	21,0		311	3,34		
1062	Qz				-56,7				21,7		312			
1063	Qz				-56,7				22,4		318			
1064	Qz			45	-56,9				22,7					
1065	Qz				-57,0				24,3		314			
1066	Qz			40	-56,9				24,8		311			

QB – 1A/Chip 1 (Continuação)

	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
Média				41,67	-56,8			8,97	23,69		313,23	2,06		
D.Padr.				2,89	0,11			0,47	1,82		5,83	0,92		
Min.				40,00	-57,00			8,30	20,70		304,60	0,42		
Max.				45,00	-56,70			9,80	26,80		325,40	3,34		
Nº				3	20			15	20		18	15		

QB – 1B/Chip 2 – zona I do pegmatito Quintos

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1067	QZ			40	-56,9				20,9		315			
1068	QZ				-56,9			9,4	25,9		309		1,22	
1069	QZ				-56,9			9,4	24,3		315		1,22	
1070	QZ				-57,1			9,3	20,2				1,42	
1071	QZ			45	-56,7			9,3	24,7		309		1,42	
1072	QZ				-56,9			9,3	25,9		312		1,42	
1073	QZ				-56,9			9,2	27,0				1,62	
1074	QZ				-57,1			9,2	26,2		314		1,62	
1075	QZ				-56,7			9,2	23,7				1,62	
1076	QZ			40	-56,8			9,2	25,7		306		1,62	
1077	QZ			40	-57,0			9,1	25,4		312		1,81	
1078	QZ				-56,7			9,1	26,6		306		1,81	
1079	QZ			50	-56,8			9,1	26,5		302		1,81	
1080	QZ				-56,8			9,0	26,8		300		2,01	
1081	QZ			45	-56,8			9,0	22,4		316		2,01	
1082	QZ				-56,7			9,0	22,7		319		2,01	
1083	QZ				-56,8			9,0	21,8		317		2,01	
1084	QZ				-56,7			9,0	21,2		303		2,01	
1085	QZ				-56,8			8,9	20,2		307		2,20	
1086	QZ				-56,7			8,9	21,3		313		2,20	
1087	QZ				-57,0			8,9	26,1		313		2,20	
1088	QZ				-57,2			8,9	27,0		301		2,20	
1089	QZ				-56,8			8,9	26,9		305		2,20	
1090	QZ				-56,8			8,9	20,1		300		2,20	
1091	QZ				-57,1			8,8	24,9		320		2,39	
1092	QZ			40	-56,7			8,8	26,6				2,39	
1093	QZ				-56,9			8,8	21,0		307		2,39	

QB – 1B/Chip 2 (Continuação)

Incl. N°	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
1094	QZ				-56,7			8,8	26,6		302	2,39		
1095	QZ				-56,9			8,8	24,9			2,39		
1096	QZ				-56,8			8,7	20,9		305	2,59		
1097	QZ				-56,9			8,7	27,1			2,59		
1098	QZ			40	-56,9			8,7	22,0		310	2,59		
1099	QZ				-56,8			8,6	26,5		314	2,78		
1100	QZ			50	-56,9			8,5	20,8			2,97		
1101	QZ				-57,1			8,5	27,0		318	2,97		
1102	QZ				-56,9			8,4	20,3			3,15		
1103	QZ				-56,7				22,4		305			
1104	QZ				-56,9				20,6		296			
1105	QZ				-56,8				26,2		311			
1106	QZ				-56,7				22,1					
1107	QZ				-56,8				20,2		311			
1108	QZ				-57,0				27,1					
1109	QZ				-56,8				26,7					
1110	QZ				-57,0				22,0		312			
1111	QZ				-56,7				27,0		309			
1112	QZ				-57,3				26,8		315			
1113	QZ			45	-56,7				22,7		310			
1114	QZ				-57,2				26,8					
1115	QZ			40	-57,0				21,3		320			
1116	QZ				-56,9			8,5	20,1		308			
1117	QZ			40	-57,0				19,9		300		2,97	
1118	QZ				-56,8				26,8		310			
1119	QZ			40	-57,0				21,0		313			
1120	QZ				-57,0				25,7					
Média				42,69	-56,88			8,94	23,95		309,46			2,12
D.Padr.				3,88	0,15			0,26	2,67		6,07			0,51
Min.				40,00	-57,30			8,40	19,90		295,70			1,22
Max.				50,00	-56,70			9,40	27,10		320,40			3,15
N°				13	54			36	54		41			36

QB – 1B/Chip 3– zona I do pegmatito Quintos

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
3067	Qz		-20		-1,5								2,57	
3068	Qz		-21		-1,5					188			2,57	
3069	Qz		-20		-1,5					189			2,57	
3070	Qz		-19		-1,6					190			2,74	
3071	Qz				-1,6					184			2,74	
3072	Qz		-20		-1,6					190			2,74	
3073	Qz				-1,7					196			2,90	
3074	Qz				-1,7					178			2,90	
3075	Qz		-20		-1,7					189			2,90	
3076	Qz		-19		-1,7					189			2,90	
3077	Qz				-1,8					180			3,06	
3078	Qz		-22		-1,8					181			3,06	
3079	Qz		-23		-1,8					194			3,06	
3080	Qz				-1,8					194			3,06	
3081	Qz				-1,8					194			3,06	
3082	Qz				-1,8					191			3,06	
3083	Qz		-19		-1,8								3,06	
3084	Qz				-1,8					191			3,06	
3085	Qz		-20		-1,8					192			3,06	
3086	Qz		-20		-1,9					188			3,23	
3087	Qz		-20		-1,9					183			3,23	
3088	Qz				-1,9								3,23	
3089	Qz				-1,9					182			3,23	
3090	Qz				-2,0					183			3,39	
3091	Qz		-21		-2,0					195			3,39	
3092	Qz		-22		-2,0					193			3,39	
3093	Qz				-2,0								3,39	
3094	Qz		-18		-2,1					190			3,55	
3095	Qz		-21		-2,1					194			3,55	
3096	Qz		-21		-2,2					179			3,71	
3097	Qz		-20		-2,4								4,03	
Média			-20,32		-1,83					188,05			3,11	
D.Padr.			1,20		0,21					5,44			0,34	
Min.			-23,00		-2,40					177,90			2,57	
Max.			-18,00		-1,50					195,70			4,03	
Nº			19		31					25			31	

QB – 3/Chip 3 - cavidade miarolítica do pegmatito Quintos

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgeolo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2001	Qz				-4,0					182			6,45	
2002	Qz				-3,8					184			6,16	
2003	Qz				-3,9		3,2			181		11,59	6,30	
2004	Qz				-3,9					177			6,30	
2005	Qz				-3,9		2,8			178		12,14	6,30	
2006	Qz				-4,0					180			6,45	
2007	Qz				-3,8					180			6,16	
2008	Qz				-3,7					182			6,01	
2009	Qz				-3,7					182			6,01	
2010	Qz		-18		-3,8		3,2			180		11,59	6,16	
2011	Qz		-19		-3,9		3,8			181		10,74	6,30	
2012	Qz				-3,7					181			6,01	
2013	Qz		-17		-4,0					175			6,45	
2014	Qz		-20		-3,9		4,0			179		10,45	6,30	
2015	Qz		-20		-3,7		3,9			179		10,60	6,01	
2016	Qz				-3,7					177			6,01	
2017	Qz				-3,8					184			6,16	
2018	Qz				-3,7		3,7			184		10,88	6,01	
2019	Qz				-3,9		3,2			183		11,59	6,30	
2020	Qz				-3,7					205			6,01	
2021	Qz				-3,7					185			6,01	
2022	Qz				-3,7		2,8			188		12,14	6,01	
2023	Qz				-4,0					188			6,45	
2024	Qz				-4,0					189			6,45	
2025	Qz		-16		-3,7		3,5			201		11,17	6,01	
2026	Qz		-15		-3,8					197			6,16	
2027	Qz		-15		-3,7					179			6,01	
2028	Qz				-4,0					212			6,45	
2029	Qz		-20		-4,0					190			6,45	
2030	Qz				-3,4					188			5,56	
2031	Qz				-3,3		3,3			188		11,45	5,41	
2032	Qz				-3,3		4,5			187		9,71	5,41	
2033	Qz				-3,4					199			5,56	
2034	Qz				-3,4					188			5,56	
2035	Qz		-22		-3,4					187			5,56	
2036	Qz				-3,0					187			4,96	
2037	Qz				-1,8					179			3,06	

QB – 3/Chip 3 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgeolo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
2038	Qz				-3,1					181			5,11	
2039	Qz				-3,2					181			5,26	
2040	Qz				-3,0					178			4,96	
2041	Qz				-1,6					173			2,74	
2042	Qz				-3,8					187		11,31	6,16	
2043	Qz				-4,0		3,4			184			6,45	
2044	Qz		-20		-4,0					190			6,45	
2045	Qz		-22		-3,7					175			6,01	
2046	Qz		-22		-4,0					172			6,45	
2047	Qz				-2,8					178			4,65	
2048	Qz				-2,8					189			4,65	
2049	Qz				-3,6					185			5,86	
2050	Qz				-3,0					194			4,96	
2051	Qz				-3,9					192			6,30	
2052	Qz				-3,2								5,26	
2053	Qz				-3,7					172			6,01	
2054	Qz				-3,8					178			6,16	
2055	Qz				-4,0					175			6,45	
2056	Qz				-2,9					172			4,80	
2057	Qz		-19		-3,3					168			5,41	
2058	Qz				-3,8					169			6,16	
2059	Qz				-3,4					170			5,56	
2060	Qz				-3,3					170			5,41	
2061	Qz				-3,5					178			5,71	
2062	Qz				-3,5					180			5,71	
2063	Qz				-3,4								5,56	
2064	Qz				-3,2					178			5,26	
2065	Qz				-3,7					177			6,01	
2066	Qz				-1,7					182			2,90	
2067	Qz		-18		-3,2					182			5,26	
2068	Qz				-3,2					188			5,26	
2069	Qz				-1,8					194			3,06	
2070	Qz		-18		-3,8					196			6,16	
2071	Qz		-15		-3,7					175			6,01	
2072	Qz				-3,7					172			6,01	
2073	Qz				-3,6					177			5,86	
2074	Qz				-4,0					174			6,45	

QB – 4A/Chip 3 (Continuação)

Incl. Nº.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgele	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
3186	Qz				-2,5					196			4,18	
3187	Qz				-2,6					196			4,34	
3188	Qz				-2,6					192			4,34	
3189	Qz				-2,6					182			4,34	
3190	Qz				-2,6					199			4,34	
3191	Qz		-15		-2,7								4,49	
3192	Qz				-2,7								4,49	
3193	Qz		-19		-2,7					>270			4,49	
3194	Qz				-2,8					182			4,65	
3195	Qz				-2,8					194			4,65	
3196	Qz				-2,9					180			4,80	
3197	Qz				-2,9					>270			4,80	
3198	Qz				-3,0					188			4,96	
3199	Qz				-3,0					199			4,96	
3200	Qz				-3,0					187			4,96	
3201	Qz				-3,0					182			4,96	
3202	Qz		-17		-3,0					201			4,96	
3203	Qz				-3,0					>270			4,96	
3204	Qz				-3,1								5,11	
3205	Qz		-18		-3,1					188			5,11	
3206	Qz				-3,1					185			5,11	
3207	Qz				-3,2					195			5,26	
3208	Qz				-3,2					202			5,26	
3209	Qz		-15		-3,2					198			5,26	
3210	Qz				-3,2								5,26	
3211	Qz				-3,2								5,26	
3212	Qz		-18		-3,2					206			5,26	
3213	Qz		-16		-3,2					193			5,26	
3214	Qz				-3,2					198			5,26	
3215	Qz				-3,2					199			5,26	
3216	Qz				-3,2					202			5,26	
3217	Qz				-3,2								5,26	
3218	Qz				-3,2					254			5,26	
3219	Qz				-3,2					>270			5,26	
3220	Qz				-3,2					>270			5,26	
3221	Qz				-3,3					182			5,41	
3222	Qz				-3,3					187			5,41	

QB – 4A/Chip 3 (Continuação)

Incl. N°.	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfsgelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
3223	Qz					-3,3							5,41	
3224	Qz		-18			-3,3							5,41	
3225	Qz					-3,3							5,41	
3226	Qz					-3,3				270			5,41	
3227	Qz					-3,3				>270			5,41	
3228	Qz					-3,4				184			5,56	
3229	Qz					-3,4				180			5,56	
3230	Qz					-3,4				180			5,56	
3231	Qz		-16			-3,4				210			5,56	
3232	Qz					-3,4				193			5,56	
3233	Qz		-16			-3,4				192			5,56	
3234	Qz					-3,4				199			5,56	
3235	Qz					-3,4				213			5,56	
3236	Qz					-3,5							5,71	
3237	Qz					-3,5				202			5,71	
3238	Qz					-3,5				199			5,71	
3239	Qz					-3,5							5,71	
3240	Qz		-16			-3,5				193			5,71	
3241	Qz					-3,5				>270			5,71	
3242	Qz					-3,6				213			5,86	
3243	Qz		-22			-3,6				192			5,86	
3244	Qz					-3,6				187			5,86	
3245	Qz					-3,6				197			5,86	
3246	Qz					-3,6				>270			5,86	
3247	Qz					-3,7				193			6,01	
3248	Qz					-3,7				185			6,01	
3249	Qz					-3,7							6,01	
3250	Qz					-3,7				188			6,01	
3251	Qz		-20			-3,8				184			6,16	
3252	Qz					-3,8				190			6,16	
3253	Qz					-3,8				195			6,16	
3254	Qz		-19			-3,9				197			6,30	
3255	Qz					-4,0				212			6,45	

QB – 4A/Chip 3 (Continuação)

	Fase	Tc	TE	%CO ₂	TfCO ₂	Tfgelelo	Tfhd	Tfchal	ThPCO ₂	ThT-H ₂ O	ThT-CO ₂	SalTfch	SalTmice	SalTmice2
Média			-17,50		-3,04					197,62			5,01	
D.Padr.			2,03		0,57					19,37			0,88	
Min.			-22,00		-4,00					180,00			3,06	
Max.			-15,00		-1,80					270,00			6,45	
Nº			14		85					61			85	

3.1 - Pegmatito Boqueirão

Elementos maiores , calculados para 24 (O) , e elementos traço das micas do pegmatito Boqueirão

(a) Elementos Maiores

Óxidos %peso	BO-103a		BO-105		BO-100		BO-104a		BO-107	
	Zona II	Zona II	Zona II	C.S.	C.S.	C.S.	C.S.	C.S.	C.S.	
SiO ₂	44,90	45,40	44,20	45,30	44,80					
Al ₂ O ₃	34,20	32,80	35,20	33,60	33,70					
K ₂ O	10,10	10,40	9,96	10,20	10,11					
MgO	0,60	1,10	0,30	0,90	0,69					
MnO	0,08	0,08	0,07	0,12	0,23					
CaO	0,01	0,01	tr	0,01	0,02					
Na ₂ O	0,70	0,60	0,70	0,60	0,68					
TiO ₂	0,16	0,35	0,10	0,26	0,25					
Rb ₂ O	0,19	0,14	0,90	0,41	0,38					
Fe ₂ O ₃	2,97	4,30	3,06	2,68	2,57					
F*	0,51	0,53	0,26	0,56	1,38					
P.F	6,10	5,00	5,10	5,70	5,70					
Total	100,52	100,71	99,85	100,34	100,51					
apfu										
K	1,68	1,75	1,69	1,71	1,68					
Ca	0,00	0,00		0,00	0,00					
Na	0,18	0,15	0,18	0,15	0,17					
Rb	0,03	0,02	0,15	0,07	0,06					
Total X	1,89	1,93	2,03	1,93	1,92					
Al(V)	3,11	3,11	3,41	3,13	3,00					
Ti	0,02	0,03	0,01	0,03	0,02					
Fe	0,44	0,64	0,46	0,40	0,38					
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03					
Mg	0,12	0,22	0,06	0,18	0,13					
Total Y	3,69	4,02	3,95	3,75	3,56					
Si(IV)	5,86	6,00	5,89	5,94	5,83					
Al(IV)	2,14	2,00	2,11	2,06	2,17					
Total Z	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00					
OH	5,31	4,41	4,53	4,99	4,95					
F	0,21	0,22	0,11	0,23	0,57					
Total T	5,52	4,63	4,64	5,22	5,52					

(b) Elementos Traço

Elemento ppm	BO-103a		BO-105		BO-100		BO-104a		BO-107	
	Zona II	Zona II	Zona II	C.S.	C.S.	C.S.	C.S.	C.S.	C.S.	
Ga**	243	182	269	210	236					
Ta	32	26	150	63	41					
Nb	503	496	229	423	393					
Be	15	10	20	15	31					
Pb	1	2	1	1	2					
Sn	94	113	2	57	23					
Zn	137	117	234	164	257					
Cu	6	7	3	3	1					
U	1	1	1	1	2					
Bi	0	0	2	1	1					
V	5	7	21	13	5					
Ba	5	6	5	7	6					
W	67	64	19	66	154					
Zr	3	4	4	4	35					
P**	262	175	262	218	218					
K/Rb	48	69	10	22	24					
Al/Ga	745	954	692	847	756					

Elementos maiores analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE), exceto F*, analisado por ICP-MS (ACME, Canadá)

Elementos traços analisados por ICP-MS (ACME, Canadá), exceto Ga** e P**, analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE)

Tr = traços

CS = corpo de substituição

P.F = perda ao fogo

Elementos maiores, calculados para 32 (O), e elementos traço dos feldspatos do pegmatito Boqueirão

(a) Elementos Maiores

Oxidos %peso	BO-103b		BO-101		BO-106		BO-104b	
	Zona II	Zona III	CS	CS				
SiO ₂	67,10	64,20	64,20	64,10	64,10	65,70		
Al ₂ O ₃	21,10	19,40	19,40	19,30	20,70	20,70		
K ₂ O	2,20	11,96	11,96	11,72	5,09	5,09		
MgO	0,01	tr	tr	0,12	tr	tr		
MnO	0,01	0,01	0,01	tr	tr	0,01		
CaO	0,06	tr	tr	0,05	0,03	0,03		
Na ₂ O	9,08	3,81	3,81	3,12	8,25	8,25		
TiO ₂	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02		
P ₂ O ₅	0,42	0,51	0,51	0,31	0,22	0,22		
Fe ₂ O ₃	0,06	0,10	0,10	tr	0,04	0,04		
P.F.	0,56	0,46	0,46	0,26	0,57	0,57		
Total	100,61	100,47	100,47	99,00	100,63	100,63		

apfu

Si	11,63	11,62	11,75	11,57
Al	4,31	4,14	4,17	4,30
K	0,49	2,76	2,74	1,14
Mg	0,00		0,03	
Mn	0,00	0,00		0,00
Ca	0,01		0,01	0,01
Na	3,05	1,34	1,11	2,82
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00
P	0,06	0,08	0,05	0,03
Fe	0,01	0,02		0,01
OH	0,65	0,56	0,32	0,67
Total	20,21	20,52	20,18	20,55
Or (%)	13,71	67,38	71,01	28,83
Ab (%)	85,98	32,62	28,73	71,03
An (%)	0,31	0,00	0,25	0,14

Elementos maiores analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE)

Tr = traços; P.F = perda ao fogo

(b) Elementos Traço

Elemento ppm	BO-103b		BO-101		BO-106		BO-104b	
	Zona II	Zona III	CS	CS				
Rb	310	2130	2130	2688	1243	1243		
Cs	16	124	124	48	206	206		
Ba	6	3	3	9	21	21		
Ga	28	23	23	22	17	17		
Ta	1	<ld	<ld	0	0	0		
Nb	3	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld		
Be	12	7	7	6	2	2		
Pb	1	1	1	1	1	1		
Sn	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld		
Sr	3	8	8	2	4	4		
Zn	2	1	1	1	1	1		
Cu	3	5	5	1	1	1		
U	3	1	1	1	1	1		
Bi	0	0	0	0	2	2		
V	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld		
W	398	126	126	243	482	482		
Zr	<ld	<ld	<ld	<ld	10	10		
Y	0	0	0	0	1	1		
K/Rb	59	47	47	36	34	34		
Al/Ga	4060	4483	4483	4622	6406	6406		
Rb/Sr	124	270	270	1280	289	289		

Elementos traços analisados por ICP-MS (ACME, Canadá)

tr = traços

<ld = abaixo do limite de detecção

CS = corpo de substituição

3.2 - Pegmatito Capoeira 1

Elementos maiores das micas do pegmatito Capoeira 1, calculados para 24 (O), analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE), exceto F*, analisado por ICP-MS (ACME, Canadá)

Óxidos %peso	CA1-115a	CA1-106a	CA1-110a	CA1-114	CA1-102	CA1-104a	CA1-108a	CA1-109
	Zona I	Zona II	Zona II	Zona II	CS	CS	CS	CS
SiO ₂	45,70	44,80	45,80	44,90	45,30	44,40	44,80	45,40
Al ₂ O ₃	32,10	33,60	32,80	32,80	34,10	34,60	33,30	33,70
K ₂ O	10,32	10,30	10,09	10,27	10,39	10,30	10,30	10,40
MgO	1,21	1,00	0,80	1,11	0,80	0,60	0,90	0,90
MnO	0,08	0,09	0,10	0,08	0,13	0,14	0,19	0,18
CaO	0,03	0,02	0,01	tr	0,01	0,01	0,01	0,01
Na ₂ O	0,79	0,60	0,60	0,64	0,70	0,70	0,60	0,60
TiO ₂	0,41	0,52	0,58	0,6	0,58	0,41	0,57	0,56
Rb ₂ O	0,25	0,16	0,19	0,16	0,30	0,42	0,26	0,22
Fe ₂ O ₃	3,86	2,88	2,73	3,49	2,70	2,77	2,90	2,93
F*	0,55	0,50	0,89	0,69	0,79	0,99	0,65	0,98
P.F	5,20	5,60	6,20	5,50	5,20	5,10	4,60	5,20
Total	100,50	100,07	100,78	100,24	100,99	100,44	99,08	101,08
apfu								
K	1,74	1,73	1,67	1,73	1,73	1,73	1,76	1,73
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,20	0,15	0,15	0,16	0,18	0,18	0,16	0,15
Rb	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,07	0,04	0,04
Total X	1,99	1,92	1,85	1,92	1,96	1,98	1,97	1,92
Al(VI)	3,04	3,12	2,93	3,01	3,18	3,21	3,28	3,11
Ti	0,04	0,05	0,06	0,06	0,06	0,04	0,06	0,06
Fe	0,58	0,43	0,40	0,52	0,40	0,41	0,44	0,43
Mn	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Mg	0,24	0,20	0,15	0,22	0,16	0,12	0,18	0,18
Total Y	3,90	3,81	3,55	3,81	3,81	3,79	3,98	3,79
Si(IV)	6,04	5,90	5,93	5,92	5,93	5,84	6,01	5,93
Al(IV)	1,96	2,10	2,07	2,08	2,07	2,16	1,99	2,07
Total Z	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
OH	4,58	4,92	5,35	4,83	4,54	4,48	4,12	4,53
F	0,23	0,21	0,36	0,29	0,32	0,41	0,28	0,40
Total T	4,81	5,13	5,71	5,12	4,86	4,89	4,39	4,93

tr = traços; CS = corpo de substituição; P.F = perda ao fogo

Elementos traço das micas do pegmatito Capoeira 1, analisados por ICP-MS (ACME, Canadá), exceto Ga** e P**, analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE)

Cátions	CA1-115a	CA1-106a	CA1-110a	CA1-114	CA1-102	CA1-104a	CA1-108a	CA1-109
	Zona I	Zona II	Zona II	Zona II	CS	CS	CS	CS
Ga**	178	161	175	166	203	250	197	189
Ta	48	37	35	26	39	74	40	37
Nb	342	328	373	379	407	309	440	437
Be	19	17	12	11	21	26	18	16
Pb	2	1	2	2	1	1	1	2
Sn	8	3	5	5	2	1	2	3
Zn	312	189	218	143	228	568	225	169
Cu	2	2	2	1	1	0	5	16
U	1	0	0	1	10	0	5	4
Bi	0	0	0	0	0	0	0	0
V	5	19	20	21	7	3	3	4
Ba	11	62	47	50	13	2	26	36
W	120	52	77	79	28	20	64	46
Zr	4	4	7	8	2	2	3	2
P**	218	175	131	87	175	218	175	131
K/Rb	37	58	49	60	31	22	36	43
Al/Ga	954	1104	992	1046	889	732	895	944

CS = corpo de substituição

Elementos maiores dos feldspatos do pegmatito Capoeira 1, calculados para 32 (O), analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE)

Oxidos %peso	CA1-112		CA1-115b		CA1-103		CA1-106b		CA1-110b		CA1-101		CA1-105		CA1-107		CA1-111		CA1-113		CA1-104b		CA1-108b	
	Zona I	Zona II	Zona I	Zona II	Zona I	Zona II	Zona I	Zona II	Zona I	Zona II	Zona III	CS	CS	CS										
SiO ₂	64,20	64,50	64,50	64,50	65,40	67,70	64,10	64,10	63,10	64,60	64,50	65,00	64,50	63,10	64,60	64,50	65,00	64,50	64,50	65,00	65,00	68,40	68,40	68,00
Al ₂ O ₃	19,30	19,20	18,90	18,90	19,80	21,50	19,30	19,30	18,70	19,30	18,90	19,10	18,90	18,70	19,30	18,90	19,10	18,90	18,90	19,10	19,10	20,60	20,60	21,30
K ₂ O	9,55	11,67	11,92	11,92	4,83	0,59	11,72	11,72	10,77	12,18	12,67	11,54	12,67	10,77	12,18	12,67	11,54	12,67	12,67	11,54	0,47	0,47	0,46	
MgO	0,11	0,10	0,12	0,12	0,11	tr	0,12	0,12	0,10	tr	tr	0,12	tr	0,10	tr	tr	0,12	tr	tr	0,12	0,01	0,01	0,01	
MnO	0,03	tr	tr	tr	0,04	0,01	tr	0,04	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	0,01	tr	0,02	0,03	0,03	0,01	
CaO	0,39	0,08	0,04	0,04	0,60	0,19	0,05	0,05	2,55	tr	tr	0,07	tr	2,55	tr	tr	0,07	tr	0,07	0,02	0,08	0,08	0,14	
Na ₂ O	4,52	3,30	3,04	3,04	7,83	9,77	3,12	3,12	3,37	3,62	3,62	3,19	3,62	3,37	3,62	3,62	3,19	3,62	3,19	3,19	9,92	9,92	9,74	
TiO ₂	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	
P ₂ O ₅	0,41	0,34	0,24	0,24	0,21	0,19	0,31	0,31	0,46	0,27	0,30	0,33	0,30	0,46	0,27	0,30	0,33	0,30	0,33	0,33	0,36	0,36	0,24	
Fe ₂ O ₃	tr	tr	tr	tr	tr	0,04	tr	tr	tr	0,07	0,04	tr	tr	tr	0,07	0,04	tr	0,04	tr	tr	0,05	0,05	0,04	
P.F	0,67	0,30	0,30	0,30	0,35	0,20	0,47	0,47	0,32	0,19	0,26	0,82	0,32	0,32	0,19	0,26	0,82	0,26	0,82	0,82	0,44	0,44	0,42	
Total	99,20	99,50	99,08	99,08	99,19	100,21	99,21	99,21	99,38	100,24	100,32	100,21	100,32	99,38	100,24	100,32	100,21	100,32	100,21	100,21	100,37	100,37	100,39	
apfu																								
Si	11,62	11,76	11,81	11,73	11,69	11,73	11,70	11,70	11,58	11,75	11,75	11,69	11,75	11,58	11,75	11,75	11,69	11,75	11,69	11,69	11,80	11,80	11,73	
Al	4,12	4,13	4,08	4,39	4,17	4,39	4,15	4,15	4,05	4,14	4,06	4,05	4,14	4,05	4,14	4,06	4,05	4,06	4,05	4,05	4,19	4,19	4,33	
K	2,21	2,71	2,79	0,13	1,10	0,13	2,73	2,73	2,52	2,83	2,95	2,65	2,83	2,52	2,83	2,95	2,65	2,95	2,65	2,65	0,10	0,10	0,10	
Mg	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,00	
Mn	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
Ca	0,08	0,02	0,01	0,04	0,11	0,04	0,01	0,01	0,50	1,28	1,28	0,01	1,28	0,50	1,28	1,28	0,01	1,28	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	
Na	1,59	1,17	1,08	3,28	2,71	3,28	1,10	1,10	1,20	0,00	0,00	1,11	0,00	1,20	0,00	0,00	1,11	0,00	1,11	1,11	3,32	3,32	3,26	
Ti	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	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
P	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,05	0,07	0,04	0,05	0,05	0,04	0,07	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,04	
Fe	0,81	0,36	0,37	0,23	0,42	0,23	0,57	0,57	0,39	0,23	0,32	0,98	0,23	0,39	0,23	0,32	0,98	0,32	0,98	0,98	0,51	0,51	0,48	
OH	20,52	20,22	20,20	19,85	20,29	19,85	20,35	20,35	20,34	20,28	20,41	20,58	20,41	20,34	20,28	20,41	20,58	20,41	20,58	20,58	19,99	19,99	19,97	
Total	57,02	69,66	71,92	3,78	28,03	3,78	71,01	71,01	59,72	68,88	69,72	70,16	69,72	59,72	68,88	69,72	70,16	69,72	70,16	70,16	3,01	3,01	2,99	
Or (%)	41,02	29,94	27,88	95,19	69,05	95,19	28,73	28,73	28,40	31,12	30,28	29,48	30,28	28,40	31,12	30,28	29,48	30,28	29,48	29,48	96,56	96,56	96,24	
Ab (%)	1,96	0,40	0,20	1,02	2,92	1,02	0,25	0,25	11,88	0,00	0,00	0,36	0,00	11,88	0,00	0,00	0,36	0,00	0,36	0,36	0,43	0,43	0,76	

tr = traços ; CS = corpo de substituição; P.F = perda ao fogo

Elementos traço dos feldspatos do pegmatito Capoeira 1, analisados por ICP-MS (ACME, Canadá)

Elemento ppm	CA1-112	CA1-115b	CA1-103	CA1-106b	CA1-110b	CA1-101	CA1-105	CA1-107	CA1-111	CA1-113	CA1-104b	CA1-108b
	Zona I	Zona I	Zona II	Zona II	Zona II	Zona III	CS	CS				
Rb	448	755	1274	275	860	1693	2441	1864	1302	1362	609	601
Cs	15	7	37	5	24	68	64	66	26	25	8	7
Ba	128	57	254	63	10	53	9	55	34	29	47	38
Ga	18	16	14	15	18	16	20	17	15	18	19	16
Ta	1	0	0	<ld	<ld	<ld	<ld	0	<ld	<ld	1	0
Nb	2	1	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	2	1
Be	8	3	2	10	4	2	<ld	2	2	4	2	6
Pb	2	2	1	2	1	1	1	1	0	1	2	2
Sn	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
Sr	18	7	20	19	10	10	8	9	4	10	10	6
Zn	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	3	2
Cu	0	1	1	8	6	1	5	0	0	4	1	1
U	1	0	0	1	0	<ld	1	0	<ld	0	1	1
Bi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
V	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
W	513	624	241	541	471	408	144	202	148	410	691	690
Zr	3	1	<ld	2	1	<ld	<ld	<ld	<ld	1	1	1
Y	2	0	<ld	1	0	<ld	0	0	0	0	0	0
K/Rb	177	128	78	146	6	57	37	54	81	70	6	6
Al/Ga	5674	6472	7354	6804	6502	6228	5023	5973	6713	5711	5738	7001
Rb/Sr	25	116	65	15	90	164	313	219	343	140	63	98

<ld = abaixo do limite de detecção; CS = corpo de substituição

3.3 - Pegmatito Capoeira 2

Elementos maiores , calculados para 24 (O), e elementos traço das micas do pegmatito Capoeira 2

(a) Elementos Maiores

Óxidos	CA2-101a		CA2-102a		CA2-104a		CA2-105	
	Zona I	Zona II	Zona I	Zona II	Z. Albita	CS		
%peso	44,70	44,50	44,00	44,10	44,00	44,10		
SiO ₂	33,30	34,60	36,10	36,20	36,10	36,20		
Al ₂ O ₃	10,21	10,17	9,95	10,22	9,95	10,22		
K ₂ O	0,77	0,48	0,14	0,26	0,14	0,26		
MgO	0,17	0,17	0,22	0,25	0,22	0,25		
MnO	0,02	0,04	0,01	0,05	0,01	0,05		
CaO	0,68	0,67	0,78	0,54	0,78	0,54		
Na ₂ O	0,64	0,45	0,24	0,16	0,24	0,16		
TiO ₂	0,28	0,58	0,75	0,71	0,75	0,71		
Rb ₂ O	3,42	2,50	1,42	0,97	1,42	0,97		
Fe ₂ O ₃	0,91	0,89	1,29	0,75	1,29	0,75		
F*	5,20	5,70	5,80	5,50	5,80	5,50		
P.F	100,02	100,17	99,95	99,00	99,95	99,00		

apfu		CA2-101a		CA2-102a		CA2-104a		CA2-105	
K	1,72	1,69	1,64	1,64	1,64	1,72			
Ca	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01			
Na	0,17	0,17	0,20	0,14	0,20	0,14			
Rb	0,05	0,10	0,13	0,12	0,13	0,12			
Total X	1,94	1,96	1,97	1,98	1,97	1,98			
Al(VI)	3,07	3,13	3,21	3,42	3,21	3,42			
Ti	0,06	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02			
Fe	0,51	0,37	0,21	0,14	0,21	0,14			
Mn	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,03			
Mg	0,15	0,09	0,03	0,05	0,03	0,05			
Total Y	3,81	3,65	3,50	3,65	3,50	3,65			
Si(IV)	5,89	5,81	5,70	5,80	5,70	5,80			
Al(IV)	2,11	2,19	2,30	2,20	2,30	2,20			
Total Z	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00			
OH	4,57	4,96	5,01	4,83	5,01	4,83			
F	0,38	0,37	0,53	0,31	0,53	0,31			
Total T	4,96	5,33	5,54	5,14	5,54	5,14			

(b) Elementos Traço

Elemento	CA2-101a		CA2-102a		CA2-104a		CA2-105	
	Zona I	Zona II	Zona I	Zona II	Z. Albita	CS		
Ga**	215	286	364	283				
Ta	41	82	40	32				
Nb	514	379	176	95				
Be	18	24	30	21				
Pb	1	1	1	3				
Sn	101	30	7	6				
Zn	182	418	767	810				
Cu	2	3	2	4				
U	4	10	0	4				
Bi	1	8	1	1				
V	14	5	1	5				
Ba	16	6	2	8				
W	48	31	19	17				
Zr	14	2	1	0				
P**	131	175	175	349				
K/Rb	33	16	12	13				
Al/Ga	820	640	525	677				

Elementos maiores analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE), exceto F*, analisado por ICP-MS (ACME, Canadá)

Elementos traços analisados por ICP-MS (ACME, Canadá), exceto Ga** e P**, analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE)

Z. Albita = zona de albita

CS = corpo de substituição

P.F = perda ao fogo

Elementos maiores, calculados para 32 (O), e elementos traço dos feldspatos do pegmatito Capoeira 2

(a) Elementos Maiores

Óxidos %peso	CA2-101b		CA2-102b		CA2-102c		CA2-103		CA2-106		CA2-104b	
	Zona I	Zona II	Zona II	Zona II	Zona II	Zona II	Zona III	Zona III	Zona III	Zona III	Z. Albita	Z. Albita
SiO ₂	65,40	65,90	65,90	64,50	63,80	65,00	63,80	65,00	65,00	65,00	65,90	65,90
Al ₂ O ₃	20,50	19,70	19,70	19,10	18,80	19,40	18,80	19,40	19,40	19,40	19,70	19,70
K ₂ O	0,65	1,78	1,78	11,4	11,55	11,95	11,55	11,95	11,95	11,95	0,43	0,43
MgO	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
MnO	0,01	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
CaO	0,77	0,33	0,33	0,12	0,1	0,12	0,1	0,12	0,12	0,12	0,27	0,27
Na ₂ O	11,00	10,40	10,40	3,40	3,20	3,10	3,20	3,10	3,10	3,10	11,40	11,40
TiO ₂	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
P ₂ O ₅	0,29	0,34	0,34	0,36	0,34	0,38	0,34	0,38	0,38	0,38	0,35	0,35
Fe ₂ O ₃	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr	tr
P.F.	0,50	0,60	0,60	0,70	0,20	0,30	0,20	0,30	0,30	0,30	0,50	0,50
Total	99,24	99,17	99,17	99,70	98,10	100,37	98,10	100,37	100,37	100,37	98,66	98,66

apfu

Si	11,54	11,64	11,68	11,80	11,80	11,75	11,80	11,75	11,75	11,75	11,66	11,66
Al	4,26	4,10	4,08	4,10	4,10	4,13	4,10	4,13	4,13	4,13	4,11	4,11
K	0,15	0,40	2,63	2,73	2,73	2,76	2,73	2,76	2,76	2,76	0,10	0,10
Mg	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Mn	0,00											
Ca	0,15	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,05	0,05
Na	3,76	3,56	1,19	1,15	1,15	1,09	1,15	1,09	1,09	1,09	3,91	3,91
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
P	0,04	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05
Fe												
OH	0,59	0,71	0,85	0,25	0,25	0,36	0,25	0,36	0,36	0,36	0,59	0,59
Total	20,51	20,56	20,53	20,13	20,13	20,20	20,13	20,20	20,20	20,20	20,50	20,50
Or (%)	3,61	9,96	68,39	70,01	71,29	71,29	71,29	71,29	71,29	71,29	2,39	2,39
Ab (%)	92,80	88,48	31,00	29,48	28,11	28,11	28,11	28,11	28,11	28,11	96,35	96,35
An (%)	3,59	1,55	0,60	0,51	0,60	0,60	0,51	0,60	0,60	0,60	1,26	1,26

Elementos maiores analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE)

Tr = traços; Z. Albita = zona de albita; P.F = perda ao fogo

(b) Elementos Traço

Elemento	CA2-101b		CA2-102b		CA2-102c		CA2-103		CA2-106		CA2-104b	
	Zona I	Zona II	Zona II	Zona II	Zona II	Zona II	Zona III	Zona III	Zona III	Zona III	Z. Albita	Z. Albita
Rb	80	417	417	2988	2045	2649	2045	2649	2649	2649	33	33
Cs	19	30	30	180	76	146	76	146	146	146	9	9
Ba	7	22	22	79	83	59	83	59	59	59	4	4
Ga	28	34	34	23	20	22	20	22	22	22	38	38
Ta	1	4	4	1	0	0	0	0	0	0	5	5
Nb	1	4	4	1	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	2	2
Be	4	12	12	3	8	7	8	7	7	7	18	18
Pb	1	1	1	2	0	1	0	1	1	1	1	1
Sn	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
Sr	11	5	5	8	8	8	8	8	8	8	5	5
Zh	3	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
Cu	5	7	7	9	1	1	1	1	1	1	8	8
U	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Bi	1	2	2	1	0	1	0	1	0	1	5	5
V	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
W	313	642	642	708	191	420	191	420	420	420	701	701
Zr	1	<ld	<ld	1	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld
Y	1	0	0	0	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	<ld	0	0
K/Rb	67	35	35	32	47	37	47	37	37	37	109	109
Al/Ga	3888	3057	3057	4320	4999	4753	4999	4753	4753	4753	2758	2758
Rb/Sr	7	91	91	369	246	344	246	344	344	344	6	6

Elementos traços analisados por ICP-MS (ACME, Canadá)

<ld = abaixo do limite de detecção

3.4 - Pegmatito Capoeira 3

Elementos maiores, calculados para 24 (O), e elementos traço das micas do pegmatito Capoeira 3

(a) Elementos Maiores

Oxidos %peso	CA3-100a		CA3-102a	
	Zona I	Z. Albita	Zona I	Z. Albita
SiO ₂	44,94	45,12		
Al ₂ O ₃	34,69	35,29		
K ₂ O	10,91	10,70		
MgO	0,25	0,12		
MnO	0,17	0,20		
CaO	0,02	0,01		
Na ₂ O	0,68	0,62		
TiO ₂	0,40	0,25		
Rb ₂ O	0,54	0,77		
Fe ₂ O ₃	2,55	1,69		
F*	0,58	0,75		
P.F	5,30	5,90		
Total	101,03	101,42		

apfu			
K	1,83	1,77	
Ca	0,00	0,00	
Na	0,17	0,16	
Rb	0,09	0,13	
Total X	2,10	2,05	
Al(VI)	3,27	3,24	
Ti	0,04	0,02	
Fe	0,38	0,25	
Mn	0,02	0,02	
Mg	0,05	0,02	
Total Y	3,76	3,56	
Si(IV)	5,90	5,85	
Al(IV)	2,10	2,15	
Total Z	8,00	8,00	
OH	4,64	5,10	
F	0,24	0,31	
Total T	4,88	5,41	
K/Rb	18	13	
Al/Ga	956	1012	

(b) elementos Traço

Elemento ppm	CA3-100a		CA3-102a	
	Zona I	Z. Albita	Zona I	Z. Albita
Ga	192	185		
Ta	41	61		
Nb	306	208		
Be	72	31		
Pb	1	1		
Sn	11	8		
Zn	433	610		
Cu	3	3		
U	6	10		
Bi	0	6		
V	8	4		
Ba	3	5		
W	88	17		
Zr	1	1		
P	<ld	<ld		
K/Rb	18	13		
Al/Ga	956	1012		

Elementos maiores analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE),
exceto F*, analisado por ICP-MS (ACME, Canadá)

Elementos traços analisados por ICP-MS (ACME, Canadá)

P.F = perda ao fogo

<ld = abaixo do limite de detecção

Z. Albita = zona de albita

Elementos maiores, calculados para 32 (O), e elementos traço dos feldspatos do pegmatito Capoeira 3

(a) Elementos Maiores

Óxidos %peso	CA3-100b		CA3-102b	
	Zona I	Z. Albita	Zona I	Z. Albita
SiO ₂	64,59	67,17		
Al ₂ O ₃	18,92	19,84		
K ₂ O	4,37	0,83		
MgO	0,01	0,01		
MnO	0,03	0,01		
CaO	2,14	0,28		
Na ₂ O	7,77	11,02		
TiO ₂	tr	tr		
P ₂ O ₅	0,17	0,33		
Fe ₂ O ₃	0,05	tr		
P.F.	1,8	0,3		
Total	99,85	99,79		

apfu	
Si	11,37
Al	3,93
K	0,98
Mg	0,00
Mn	0,00
Ca	0,40
Na	2,65
Ti	0,03
P	0,01
Fe	2,11
OH	0,35
Total	21,50
Or (%)	24,31
Ab (%)	65,69
An (%)	10,00

(b) Elementos Traço

Elemento ppm	CA3-100b		CA3-102b	
	Zona I	Z. Albita	Zona I	Z. Albita
Rb	391	209		
Cs	24	22		
Ba	20	10		
Ga	18	35		
Ta	3	6		
Nb	9	2		
Be	11	8		
Pb	1	1		
Sn	<ld	<ld		
Sr	23	6		
Zn	1	1		
Cu	2	4		
U	5	1		
Bi	0	5		
V	<ld	<ld		
W	909	356		
Zr	2	1		
Y	7	0		
K/Rb	93	33		
Al/Ga	5562	3034		
Rb/Sr	17	34		

Elementos traço analisados por ICP-MS (ACME, Canadá)

<ld = abaixo do limite de detecção

Elementos maiores analisados por XRF (NEG-LABISE, UFPE)

Tr = traços; Z. Albita = zona de albita; P.F = perda ao fogo

3.5 - Pegmatito Quintos

Elementos maiores, calculados para 24 (O), e elementos traço das micas do pegmatito Quintos

(a) Elementos Maiores

Óxidos %peso	QB-100a	QB-101a	QB-102a
	Lado E	Lado W	Centro
SiO ₂	44,60	44,71	44,54
Al ₂ O ₃	36,00	35,39	36,31
K ₂ O	9,81	9,77	9,94
MgO	0,19	0,30	0,05
MnO	0,28	0,24	0,37
CaO	0,05	0,02	0,10
Na ₂ O	0,66	0,67	0,64
TiO ₂	0,22	0,23	0,21
Rb ₂ O	0,89	0,75	1,12
Fe ₂ O ₃	0,94	1,07	0,73
F	n.a.	n.a.	n.a.
P.F	6,0	6,4	5,8
Total	99,64	99,55	99,81
apfu			
K	1,65	1,64	1,67
Ca	0,01	0,00	0,01
Na	0,17	0,17	0,16
Rb	0,15	0,13	0,19
Total X	1,98	1,94	2,03
Al(VI)	3,46	3,34	3,53
Ti	0,02	0,02	0,02
Fe	0,14	0,16	0,11
Mn	0,03	0,03	0,04
Mg	0,04	0,06	0,01
Total Y	3,69	3,61	3,71
Si(IV)	5,87	5,87	5,88
Al(IV)	2,13	2,13	2,12
Total Z	8,00	8,00	8,00
OH	5,27	5,60	5,10
F			
Total T	5,27	5,60	5,10

(b) Elementos Traço

Elemento ppm	QB-100a	QB-101a	QB-102a
	Lado E	Lado W	Centro
Ga	245	220	269
Ta	52	51	51
Nb	124	138	85
Be	32	23	26
Pb	0	0	0
Sn	<ld	<ld	<ld
Zn	145	115	189
Cu	1	3	1
U	5	181	1
Bi	1	0	1
V	9	9	<ld
Ba	n.a.	n.a.	n.a.
W	17	69	41
Zr	2	3	2
P	87	87	218
K/Rb	10	12	8
Al/Ga	778	851	714

Elementos maiores e elementos traço analisados por ICP-MS (ACME, Canadá)

P.F = perda ao fogo

n.a. = não analisado; <ld = abaixo do limite de detecção

Elementos maiores, calculados para 32 (O) e elementos traço dos feldspatos do pegmatito Quintos

(a) Elementos Maiores

Óxidos %peso	QB-100b		QB-102b	
	Lado E		Centro	
SiO ₂	64,70		64,23	
Al ₂ O ₃	18,44		18,50	
K ₂ O	13,26		12,71	
MgO	0,01		0,01	
MnO	0,01		tr	
CaO	0,06		0,17	
Na ₂ O	1,62		1,59	
TiO ₂	tr		tr	
P ₂ O ₅	0,22		0,28	
Fe ₂ O ₃	tr		tr	
P.F.	0,40		0,60	
Total	98,72		98,09	

apfu			
Si	11,92		11,86
Al	4,01		4,03
K	3,12		3,00
Mg	0,00		0,00
Mn	0,00		0,00
Ca	0,01		0,03
Na	0,58		0,57
Ti			
P	0,07		0,09
Fe			
OH	0,49		0,74
Total	20,20		20,32
Or (%)	84,07		83,24
Ab (%)	15,61		15,83
An (%)	0,32		0,94

(b) Elementos Traço

Elemento	QB-100b		QB-102b	
	Lado E		Centro	
Rb	11294		13388	
Cs	430		1628	
Ba	n.a.		n.a.	
Ga	30		29	
Ta	0		0	
Nb	<ld		<ld	
Be	<ld		3	
Pb	0		1	
Sn	<ld		<ld	
Sr	4		34	
Zn	1		1	
Cu	0		1	
U	1		2	
Bi	0		1	
V	<ld		<ld	
W	399		476	
Zr	1		1	
Y	<ld		0	

K/Rb	10		8
Al/Ga	3253		3376
Rb/Sr	2824		394

Elementos maiores e elementos traço analisados por ICP-MS (ACME, Canadá)

P.F = perda ao fogo

Tr = traços; <ld = abaixo do limite de detecção

Anexo IV – Análises Químicas das Turmalinas

4.1 – Pegmatito Boqueirão

BO-011/1 a 10 – Schorlita (azul escura) – Pegmatito Boqueirão (zona II) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) e Na* = Na/(Na+Ca); ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
%peso	Azul escura										
SiO ₂	35,77	35,89	35,81	35,54	35,74	35,77	35,56	35,80	35,74	35,85	35,75
TiO ₂	0,25	0,30	0,28	0,26	0,29	0,21	0,20	0,24	0,32	0,23	0,26
Al ₂ O ₃	32,99	33,28	33,29	33,03	33,21	33,15	33,13	33,36	32,93	32,92	33,13
FeO	10,68	10,24	10,42	10,53	10,53	10,45	10,52	10,65	10,41	10,29	10,47
MnO	0,50	0,51	0,55	0,60	0,50	0,43	0,60	0,54	0,60	0,45	0,53
MgO	3,46	3,43	3,43	3,47	3,52	3,48	3,52	3,54	3,54	3,51	3,49
CaO	0,09	0,07	0,07	0,07	0,09	0,09	0,08	0,08	0,07	0,08	0,08
Na ₂ O	2,23	2,35	2,30	2,28	2,30	2,32	2,22	2,29	2,32	2,22	2,28
K ₂ O	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,07	0,04	0,06	0,06	0,05
CuO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01
F	0,38	0,32	0,46	0,43	0,21	0,32	0,41	0,49	0,53	0,40	0,40
ZnO	0,35	0,31	0,37	0,39	0,38	0,39	0,38	0,42	0,43	0,40	0,38
Total	86,75	86,74	87,01	86,64	86,82	86,69	86,69	87,45	86,93	86,40	86,81
apfu											
Ca	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Na	0,71	0,75	0,73	0,73	0,74	0,74	0,71	0,73	0,74	0,71	0,73
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,26	0,23	0,25	0,25	0,24	0,23	0,26	0,25	0,24	0,26	0,25
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,03	0,04	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,03
Al	0,31	0,37	0,32	0,30	0,36	0,35	0,32	0,29	0,26	0,40	0,33
Li	0,22	0,23	0,26	0,22	0,17	0,21	0,21	0,24	0,27	0,17	0,22
Fe	1,47	1,41	1,43	1,45	1,45	1,44	1,45	1,46	1,43	1,42	1,44
Mn	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,06	0,08	0,07	0,08	0,06	0,07
Mg	0,85	0,84	0,84	0,85	0,87	0,86	0,87	0,86	0,87	0,86	0,86
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,04	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,90	5,91	5,88	5,87	5,90	5,90	5,87	5,86	5,88	5,99	5,90
Al	0,10	0,09	0,12	0,13	0,10	0,10	0,13	0,14	0,12	0,01	0,10
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,80	3,83	3,76	3,78	3,89	3,83	3,79	3,70	3,72	3,79	3,79
F	0,20	0,17	0,24	0,22	0,11	0,17	0,21	0,30	0,28	0,21	0,21
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63	0,62	0,62	0,63
Na*	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
ΣC⁺	58,08	58,13	58,02	58,03	58,18	58,11	58,04	57,98	57,96	58,29	58,08

BO-007/1 a 10 – Elbaita bicolor (verde/rósea) – Pegmatito Boqueirão (corpo de substituição) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Faixa verde: pontos 1 a 3 e 10; faixa rósea: pontos 4 a 9. Fe* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) e Na* = Na/(Na+Ca); ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
%peso	Verde			Rósea						Verde
SiO ₂	37,97	37,89	38,33	38,04	37,97	38,00	38,23	38,19	37,85	37,42
TiO ₂	0,01	0,06	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,00	0,08
Al ₂ O ₃	38,99	39,33	39,12	41,45	41,81	41,62	42,35	41,82	41,59	38,44
FeO	2,52	2,40	1,85	0,06	0,10	0,18	0,13	0,13	0,11	3,45
MnO	1,85	2,04	1,88	1,86	1,94	1,87	1,92	1,87	1,86	1,63
MgO	0,13	0,10	0,08	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
CaO	0,23	0,23	0,28	0,37	0,07	0,08	0,08	0,07	0,09	0,23
Na ₂ O	2,29	2,31	2,09	1,87	1,92	1,89	1,89	1,87	1,97	2,22
K ₂ O	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
CuO	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,04	0,02	0,01	0,00
F	0,96	1,16	1,27	0,88	0,58	0,83	0,57	0,60	0,67	1,08
ZnO	0,13	0,13	0,03	0,00	0,01	0,05	0,00	0,05	0,03	0,07
Total	85,12	85,65	85,00	84,55	84,42	84,55	85,23	84,67	84,20	84,64
apfu										
Ca	0,04	0,04	0,05	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04
Na	0,70	0,71	0,64	0,57	0,59	0,58	0,57	0,57	0,60	0,69
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vac.	0,26	0,25	0,31	0,37	0,40	0,41	0,41	0,42	0,38	0,27
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Al	1,29	1,27	1,26	1,65	1,76	1,68	1,77	1,75	1,73	1,24
Li	1,04	1,10	1,17	1,09	0,97	1,04	0,95	0,98	1,00	1,06
Fe	0,33	0,32	0,24	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,46
Mn	0,25	0,27	0,25	0,25	0,26	0,25	0,25	0,25	0,25	0,22
Mg	0,03	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01
Si	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	5,97	6,00	5,97	5,99	5,97	5,97	6,00	5,98	5,99
Al	0,00	0,03	0,00	0,03	0,01	0,03	0,03	0,00	0,02	0,01
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,52	3,42	3,37	3,56	3,71	3,59	3,72	3,70	3,67	3,45
F	0,48	0,58	0,63	0,44	0,29	0,41	0,28	0,30	0,33	0,55
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,91	0,93	0,93	1,00	0,97	0,90	0,92	1,00	1,00	1,00
Na*	0,95	0,95	0,93	0,90	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,95
ΣC⁺	58,35	58,20	58,23	58,59	58,79	58,62	58,80	58,80	58,73	58,23

BO-007a/1 a 5 – Elbaíta cinza clara– Pegmatito Boqueirão (corpo de substituição) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e Na* = $Na/(Na+Ca)$; ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	Média
%peso	Cinza clara					
SiO ₂	38,01	37,92	37,83	37,88	37,79	37,88
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	38,78	38,79	38,94	38,88	39,04	38,89
FeO	1,83	2,25	2,28	2,09	2,11	2,11
MnO	2,14	1,75	1,76	1,69	1,70	1,81
MgO	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04
CaO	0,26	0,08	0,06	0,10	0,07	0,11
Na ₂ O	2,12	2,08	2,11	2,06	2,10	2,09
K ₂ O	0,02	0,03	0,00	0,03	0,02	0,02
CuO	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02
F	1,02	0,65	0,75	0,67	0,93	0,80
ZnO	0,15	0,23	0,15	0,21	0,18	0,18
Total	84,38	83,83	83,92	83,70	83,97	83,96
apfu						
Ca	0,04	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02
Na	0,66	0,65	0,66	0,64	0,65	0,65
K	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
Vac.	0,30	0,33	0,33	0,33	0,33	0,32
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,29	1,36	1,37	1,38	1,37	1,35
Li	1,09	0,96	0,98	0,97	1,04	1,01
Fe	0,24	0,30	0,31	0,28	0,28	0,28
Mn	0,29	0,24	0,24	0,23	0,23	0,25
Mg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02
Si	0,06	0,10	0,08	0,10	0,05	0,08
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,49	3,67	3,62	3,66	3,53	3,59
F	0,51	0,33	0,38	0,34	0,47	0,41
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,96	0,97	0,98	0,97	0,97	0,97
Na*	0,94	0,98	0,98	0,97	0,98	0,97
ΣC⁺	58,24	58,41	58,41	58,43	58,34	58,36

BO-007b/1 a 8 – Elbaíta multicolorida (azul escura/azul clara/rósea/verde) – Pegmatito Boqueirão (corpo de substituição) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Faixa azul escura: pontos 1 a 2; faixa azul clara: pontos 3 a 6; faixa rósea: ponto 7; faixa verde: ponto 8. $Fe^* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e $Na^* = Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8
	Azul escura			Azul clara			Rósea	Verde
%peso	36,89	37,03	37,09	37,20	37,54	37,71	37,19	37,31
SiO ₂	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
TiO ₂	37,75	38,13	38,12	39,94	40,04	40,11	39,74	39,65
Al ₂ O ₃	4,32	4,41	3,25	1,32	0,85	1,56	1,54	1,39
FeO	1,10	1,24	1,39	2,29	2,69	2,27	2,52	2,40
MnO	0,04	0,04	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
CaO	0,02	0,05	0,19	0,20	0,27	0,24	0,25	0,27
Na ₂ O	2,02	2,09	2,35	2,08	2,02	2,08	2,22	2,10
K ₂ O	0,02	0,01	0,03	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01
CuO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00
F	0,63	0,48	0,98	1,13	1,03	0,95	1,28	1,14
ZnO	2,42	2,43	1,64	0,23	0,07	0,26	0,27	0,20
Total	85,22	85,92	85,05	84,39	84,58	85,21	85,04	84,53
apfu								
Ca	0,00	0,01	0,00	0,03	0,05	0,04	0,04	0,05
Na	0,63	0,66	0,73	0,64	0,62	0,64	0,68	0,65
K	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
Vac.	0,36	0,33	0,26	0,32	0,33	0,32	0,27	0,30
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Al	1,21	1,24	1,19	1,40	1,44	1,43	1,30	1,36
Li	0,75	0,69	0,98	1,08	1,07	1,03	1,12	1,10
Fe	0,59	0,60	0,44	0,17	0,11	0,21	0,20	0,19
Mn	0,15	0,17	0,19	0,31	0,36	0,30	0,34	0,32
Mg	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,29	0,29	0,19	0,03	0,01	0,03	0,03	0,02
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,99	5,98	5,97	5,92	5,95	5,96	5,89	5,93
Al	0,01	0,02	0,03	0,08	0,05	0,04	0,11	0,07
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,68	3,76	3,50	3,43	3,48	3,53	3,36	3,43
F	0,32	0,24	0,50	0,57	0,52	0,47	0,64	0,57
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,98	0,98
Na*	1,00	0,99	1,00	0,95	0,93	0,94	0,94	0,93
ΣC⁺	58,46	58,54	58,18	58,27	58,36	58,4	58,11	58,26

BO-008a/1 a 6 e 11 a 13– Elbaíta azul clara–Pegmatito Boqueirão (corpo de substituição) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3. n.a. = não analisado (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP) Fe* = $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e Na* = $Na/(Na+Ca)$; ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	11	12	13	Média
%peso	Azul clara									
SiO ₂	38,02	37,29	37,90	38,19	38,14	38,18	37,88	37,55	37,49	37,85
TiO ₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,06	0,00	0,00	0,01
Al ₂ O ₃	39,32	38,15	38,89	39,37	39,27	39,10	38,08	38,43	38,55	38,79
FeO	1,65	1,63	1,50	1,44	1,64	1,43	2,16	2,12	2,32	1,76
MnO	1,67	1,65	1,73	1,62	1,64	1,58	2,30	2,20	2,22	1,85
MgO	0,04	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04	0,03
CaO	0,07	0,09	0,08	0,09	0,05	0,06	0,19	0,22	0,22	0,12
Na ₂ O	2,24	2,17	2,15	2,10	2,13	2,24	2,31	2,29	2,39	2,23
K ₂ O	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,03	0,01	0,03	0,03	0,02
CuO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01
F	1,01	0,97	0,69	0,77	0,94	1,19	0,94	1,12	0,86	0,94
ZnO	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Total	84,04	82,02	82,98	83,65	83,86	83,85	83,99	83,97	84,12	83,61
apfu										
Ca	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,03	0,04	0,04	0,02
Na	0,69	0,69	0,67	0,65	0,66	0,69	0,72	0,71	0,75	0,69
K	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
Vac.	0,29	0,29	0,31	0,33	0,33	0,29	0,25	0,24	0,21	0,28
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Al	1,38	1,34	1,40	1,42	1,38	1,33	1,21	1,27	1,31	1,34
Li	1,12	1,12	1,03	1,05	1,09	1,19	1,07	1,13	1,04	1,09
Fe	0,22	0,22	0,20	0,19	0,22	0,19	0,29	0,28	0,31	0,24
Mn	0,22	0,23	0,24	0,22	0,22	0,21	0,31	0,30	0,30	0,25
Mg	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn										
Si	0,05	0,08	0,12	0,11	0,08	0,07	0,09	0,02	0,03	0,07
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,49	3,51	3,65	3,65	3,53	3,40	3,52	3,43	3,56	3,53
F	0,51	0,49	0,35	0,35	0,47	0,60	0,48	0,57	0,44	0,47
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,96	0,97	0,97	0,97	0,98	0,97	0,97	0,99	0,97	0,97
Na*	0,98	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99	0,96	0,95	0,95	0,97
ΣC⁺	58,37	58,39	58,62	58,61	58,46	58,29	58,37	58,22	58,37	58,41

BO-008b/7 a 10 – Elbaíta verde clara – Pegmatito Boqueirão (corpo de substituição) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3. n.a. = não analisado (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP) $Fe^* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e $Na^* = Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	7	8	9	10	Média
	Verde clara				
SiO ₂	37,98	37,59	37,84	37,63	37,76
TiO ₂	0,00	0,03	0,00	0,08	0,03
Al ₂ O ₃	38,27	37,54	38,05	38,48	38,08
FeO	1,52	1,35	1,58	1,85	1,57
MnO	2,78	2,69	2,54	2,58	2,65
MgO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
CaO	0,54	0,53	0,51	0,47	0,51
Na ₂ O	2,21	2,29	2,24	2,20	2,23
K ₂ O	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
CuO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
F	1,67	1,33	1,12	1,17	1,32
ZnO	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Total	84,98	83,41	83,87	84,45	84,18

apfu

Ca	0,09	0,09	0,09	0,08	0,09
Na	0,67	0,72	0,70	0,68	0,69
K	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Vac.	0,23	0,19	0,21	0,24	0,22
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Al	1,11	1,13	1,20	1,24	1,17
Li	1,32	1,25	1,18	1,14	1,22
Fe	0,20	0,18	0,21	0,25	0,21
Mn	0,37	0,37	0,35	0,35	0,36
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn					
Si	0,00	0,06	0,07	0,01	0,04
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,99	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,17	3,32	3,43	3,41	3,33
F	0,83	0,68	0,57	0,59	0,67
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	1,00	0,99	1,00	1,00	1,00
Na*	0,88	0,89	0,89	0,89	0,89
ΣC⁺	57,88	58,10	58,25	58,21	58,11

BO-008c/14 a 19 – Elbaíta rósea – Pegmatito Boqueirão (corpo de substituição) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3. n.a. = não analisado (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)
 $Fe^* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e $Na^* = Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	14	15	16	17	18	19	Média
	Rósea						
%peso							
SiO ₂	37,71	38,74	38,31	38,23	38,56	38,80	38,39
TiO ₂	0,00	0,06	0,01	0,06	0,02	0,06	0,03
Al ₂ O ₃	37,99	39,32	39,11	38,50	38,13	38,89	38,66
FeO	2,55	0,16	0,19	0,47	0,42	0,03	0,64
MnO	1,91	0,93	0,94	1,39	1,37	0,59	1,19
MgO	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
CaO	0,18	0,96	0,91	0,78	0,87	0,99	0,78
Na ₂ O	2,27	1,88	1,91	2,09	2,07	1,83	2,00
K ₂ O	0,04	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
CuO	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01
F	1,00	1,19	1,26	1,24	1,36	1,30	1,23
ZnO	n.a.						
Total	83,68	83,27	82,66	82,80	82,83	82,49	82,95
apfu							
Ca	0,03	0,16	0,16	0,13	0,15	0,17	0,13
Na	0,71	0,58	0,59	0,65	0,64	0,56	0,62
K	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vac.	0,25	0,26	0,25	0,22	0,21	0,27	0,24
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Al	1,22	1,34	1,35	1,27	1,18	1,30	1,28
Li	1,09	1,36	1,38	1,35	1,41	1,43	1,34
Fe	0,34	0,02	0,03	0,06	0,06	0,00	0,09
Mn	0,26	0,13	0,13	0,19	0,19	0,08	0,16
Mg	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn							
Si	0,08	0,14	0,11	0,12	0,16	0,18	0,13
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,49	3,40	3,36	3,37	3,31	3,35	3,38
F	0,51	0,60	0,64	0,63	0,69	0,65	0,62
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,98	0,92	0,99	1,00	1,00	1,00	0,98
Na*	0,96	0,78	0,79	0,83	0,81	0,77	0,82
ΣC⁺	58,32	58,44	58,35	58,30	58,24	58,41	58,34

4.2 - Pegmatito Capoeira 1

CA1-001/1 a 5 – Dravita – Pegmatito Capoeira 1 (zona I) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) e Na* = Na/(Na+Ca); ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos %peso	1	2	3	4	5	Média
	Preta					
SiO ₂	36,79	37,20	36,82	36,79	36,64	36,85
TiO ₂	0,19	0,18	0,15	0,15	0,34	0,20
Al ₂ O ₃	32,70	32,69	33,46	32,99	32,38	32,84
FeO	7,27	6,89	7,65	7,90	7,64	7,47
MnO	0,24	0,21	0,41	0,49	0,22	0,31
MgO	6,86	7,32	5,61	5,83	7,05	6,53
CaO	0,11	0,20	0,08	0,07	0,15	0,12
Na ₂ O	2,25	2,30	2,21	2,29	2,44	2,30
K ₂ O	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,05
CuO	0,00	0,04	0,04	0,00	0,00	0,02
F	0,17	0,13	0,20	0,17	0,06	0,15
ZnO	0,24	0,24	0,39	0,37	0,21	0,29
Total	86,89	87,46	87,05	87,08	87,16	87,13
apfu						
Ca	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02
Na	0,71	0,72	0,69	0,72	0,77	0,72
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,26	0,24	0,28	0,26	0,20	0,25
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,02
Al	0,20	0,17	0,34	0,28	0,14	0,23
Li	0,07	0,06	0,14	0,11	0,03	0,08
Fe	0,99	0,93	1,04	1,07	1,04	1,01
Mn	0,03	0,03	0,06	0,07	0,03	0,04
Mg	1,66	1,76	1,35	1,41	1,71	1,58
Cu	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,03	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,96	5,98	5,96	5,97	5,94	5,96
Al	0,04	0,02	0,04	0,03	0,06	0,04
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,91	3,94	3,90	3,91	3,97	3,93
F	0,09	0,06	0,10	0,09	0,03	0,07
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,37	0,35	0,43	0,43	0,38	0,39
Na*	0,97	0,95	0,98	0,98	0,97	0,97
ΣC ⁺	58,16	58,17	58,22	58,19	58,16	58,18

CA1-020/1 a 7 – Dravita-schorlita – Pegmatito Capoeira 1 (zona II) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) e Na* = Na/(Na+Ca); ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	Média
%peso	Preta							
SiO ₂	35,81	36,64	35,99	36,69	36,14	36,10	36,01	36,20
TiO ₂	0,50	0,15	0,36	0,10	0,38	0,38	0,33	0,31
Al ₂ O ₃	32,63	33,72	32,63	33,87	32,56	32,76	32,71	32,98
FeO	8,73	7,93	8,83	7,95	8,64	8,35	9,80	8,61
MnO	0,22	0,30	0,27	0,31	0,29	0,28	0,36	0,29
MgO	5,67	5,24	5,56	5,18	5,60	5,49	4,75	5,36
CaO	0,29	0,09	0,23	0,09	0,23	0,23	0,21	0,19
Na ₂ O	2,36	1,90	2,26	1,91	2,34	2,25	2,18	2,17
K ₂ O	0,06	0,03	0,06	0,04	0,06	0,05	0,04	0,05
CuO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01
F	0,55	0,23	0,23	0,20	0,24	0,41	0,34	0,32
ZnO	0,18	0,19	0,20	0,18	0,07	0,12	0,36	0,19
Total	87,01	86,43	86,61	86,52	86,54	86,45	87,08	86,66
apfu								
Ca	0,05	0,01	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,03
Na	0,75	0,60	0,72	0,60	0,74	0,71	0,69	0,69
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,19	0,38	0,23	0,38	0,20	0,24	0,26	0,27
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,06	0,02	0,04	0,01	0,05	0,05	0,04	0,04
Al	0,09	0,42	0,20	0,45	0,20	0,21	0,21	0,25
Li	0,23	0,15	0,12	0,14	0,15	0,21	0,15	0,16
Fe	1,19	1,08	1,21	1,08	1,18	1,14	1,34	1,18
Mn	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04
Mg	1,38	1,27	1,36	1,25	1,37	1,34	1,16	1,30
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,04	0,02
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,83	5,96	5,90	5,96	5,92	5,90	5,90	5,91
Al	0,17	0,04	0,10	0,04	0,08	0,10	0,10	0,09
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,72	3,88	3,88	3,90	3,88	3,79	3,82	3,84
F	0,28	0,12	0,12	0,10	0,12	0,21	0,18	0,16
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,46	0,46	0,47	0,46	0,46	0,46	0,54	0,47
Na*	0,94	0,98	0,95	0,97	0,95	0,95	0,95	0,95
ΣC⁺	57,86	58,29	58,11	58,31	58,11	58,03	58,07	58,11

CA1-005/1 a 12 – Schorlita – Pegmatito Capoeira 1 (corpo de substituição) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP) $Fe^* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e $Na^* = Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Média
%peso	Verde escura												
SiO ₂	35,19	35,33	35,35	35,10	35,23	35,46	35,22	35,04	35,22	35,19	35,36	35,61	35,27
TiO ₂	0,56	0,55	0,41	0,49	0,55	0,54	0,33	0,43	0,45	0,41	0,52	0,56	0,48
Al ₂ O ₃	35,44	35,13	35,02	35,14	35,03	35,27	35,08	35,53	35,14	34,85	35,06	35,33	35,17
FeO	8,98	9,09	9,02	9,15	8,93	9,07	9,13	9,07	9,00	8,90	9,16	8,63	9,01
MnO	0,59	0,54	0,54	0,61	0,64	0,59	0,57	0,54	0,66	0,59	0,60	0,67	0,60
MgO	1,80	1,87	1,86	1,84	1,82	1,85	1,83	1,84	1,86	1,87	1,85	1,65	1,83
CaO	0,09	0,10	0,12	0,11	0,08	0,11	0,09	0,11	0,08	0,10	0,10	0,12	0,10
Na ₂ O	2,34	2,23	2,28	2,31	2,32	2,29	2,29	2,30	2,36	2,28	2,31	2,36	2,30
K ₂ O	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,05	0,03
CuO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,05	0,04	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01
F	0,76	0,43	0,42	0,48	0,67	0,56	0,55	0,58	0,63	0,46	0,51	0,62	0,55
ZnO	0,44	0,44	0,55	0,41	0,48	0,48	0,44	0,48	0,50	0,46	0,50	0,47	0,47
Total	86,21	85,75	85,61	85,67	85,82	86,23	85,61	85,98	85,92	85,13	86,02	86,08	85,84
apfu													
Ca	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02
Na	0,74	0,71	0,73	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73	0,75	0,73	0,74	0,75	0,74
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,24	0,26	0,24	0,23	0,24	0,25	0,24	0,24	0,23	0,24	0,24	0,22	0,24
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,07	0,07	0,05	0,06	0,07	0,07	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,07	0,06
Al	0,60	0,67	0,68	0,65	0,60	0,63	0,65	0,66	0,61	0,67	0,63	0,66	0,64
Li	0,53	0,42	0,42	0,43	0,51	0,46	0,45	0,45	0,48	0,44	0,45	0,54	0,47
Fe	1,23	1,26	1,25	1,27	1,23	1,24	1,26	1,25	1,24	1,24	1,26	1,18	1,24
Mn	0,08	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,08	0,09	0,08	0,08	0,09	0,08
Mg	0,44	0,46	0,46	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,46	0,46	0,45	0,40	0,45
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,05	0,05	0,07	0,05	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06
Si	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
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,76	5,83	5,85	5,80	5,80	5,82	5,82	5,77	5,80	5,85	5,82	5,83	5,81
Al	0,24	0,17	0,15	0,20	0,20	0,18	0,18	0,23	0,20	0,15	0,18	0,17	0,19
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,61	3,78	3,78	3,75	3,65	3,71	3,71	3,70	3,67	3,76	3,73	3,68	3,71
F	0,39	0,22	0,22	0,25	0,35	0,29	0,29	0,30	0,33	0,24	0,27	0,32	0,29
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,74	0,73	0,73	0,74	0,73	0,73	0,74	0,73	0,73	0,73	0,74	0,75	0,73
Na*	0,98	0,98	0,97	0,97	0,98	0,97	0,98	0,97	0,98	0,98	0,98	0,97	0,98
ΣC⁺	57,98	58,23	58,23	58,17	58,04	58,14	58,12	58,09	58,06	58,20	58,15	58,11	58,13

4.3 - Pegmatito Capoeira 2

CA2-007/8 a 14- Dravita – Pegmatito Capoeira 2 (zona I) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e Na* = Na/(Na+Ca); ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	8	9	10	11	12	13	14	Média
%peso	Preta							
SiO ₂	36,60	36,37	36,81	36,61	36,52	36,51	37,17	36,66
TiO ₂	0,12	0,14	0,10	0,16	0,12	0,13	0,10	0,12
Al ₂ O ₃	31,10	30,95	30,97	31,00	30,88	30,80	31,44	31,02
FeO	7,90	7,59	7,62	7,73	7,50	7,57	7,98	7,70
MnO	0,17	0,14	0,06	0,12	0,10	0,14	0,12	0,12
MgO	7,57	7,56	7,50	7,59	7,36	7,64	7,58	7,54
CaO	0,42	0,36	0,30	0,26	0,25	0,24	0,29	0,30
Na ₂ O	2,30	2,20	2,02	2,12	2,01	2,04	2,45	2,16
K ₂ O	0,03	0,04	0,04	0,02	0,03	0,05	0,05	0,04
CuO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
F	0,22	0,21	0,23	0,34	0,36	0,18	0,30	0,26
ZnO	0,20	0,18	0,16	0,20	0,16	0,15	0,11	0,17
Total	86,62	85,74	85,82	86,14	85,29	85,45	87,57	86,09
apfu								
Ca	0,07	0,06	0,05	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05
Na	0,73	0,70	0,64	0,67	0,64	0,65	0,77	0,69
K	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,19	0,23	0,30	0,28	0,31	0,30	0,17	0,25
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Li	0,01	0,04	0,04	0,03	0,09	0,00	0,06	0,04
Fe	1,08	1,05	1,05	1,06	1,03	1,04	1,08	1,05
Mn	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
Mg	1,84	1,86	1,84	1,85	1,81	1,88	1,82	1,84
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
Si	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,03	0,00	0,01
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	5,99	6,01	5,99	5,98	6,00	5,99	5,98	5,99
ΣZ	5,99	6,01	5,99	5,98	6,00	5,99	5,98	5,99
Si	5,98	5,99	6,00	5,99	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	5,98	5,99	6,00	5,99	6,00	6,00	6,00	5,99
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,89	3,89	3,88	3,83	3,81	3,90	3,85	3,86
F	0,11	0,11	0,12	0,17	0,19	0,10	0,15	0,14
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,37	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,37	0,36
Na*	0,91	0,92	0,92	0,94	0,94	0,94	0,94	0,93
ΣC⁺	57,98	58,04	58,09	57,96	58,02	58,12	57,93	58,04

CA2-003/1 a 7 – Dravita – Pegmatito Capoeira 2 (zona II) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) e Na* = Na/(Na+Ca); ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	Média
%peso	Preta							
SiO ₂	36,23	36,25	36,38	36,32	35,97	36,18	36,05	36,20
TiO ₂	0,29	0,37	0,27	0,40	0,26	0,26	0,25	0,30
Al ₂ O ₃	31,39	31,09	31,63	31,57	31,73	31,40	31,17	31,43
FeO	8,91	8,70	8,85	8,62	8,47	8,60	8,97	8,73
MnO	0,25	0,32	0,28	0,24	0,26	0,26	0,22	0,26
MgO	6,29	6,11	5,87	6,05	6,03	6,12	6,23	6,10
CaO	0,19	0,20	0,21	0,21	0,18	0,19	0,18	0,19
Na ₂ O	2,44	2,46	2,44	2,37	2,44	2,38	2,51	2,43
K ₂ O	0,07	0,05	0,06	0,05	0,06	0,04	0,05	0,05
CuO	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01
F	0,22	0,11	0,14	0,09	0,31	0,41	0,26	0,22
ZnO	0,09	0,02	0,07	0,10	0,06	0,09	0,07	0,07
Total	86,37	85,68	86,20	86,05	85,79	85,94	85,95	86,00
apfu								
Ca	0,03	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Na	0,78	0,79	0,78	0,76	0,78	0,76	0,81	0,78
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,17	0,16	0,17	0,19	0,17	0,20	0,15	0,17
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,04	0,05	0,03	0,05	0,03	0,03	0,03	0,04
Al	0,06	0,08	0,06	0,14	0,12	0,06	0,04	0,08
Li	0,09	0,10	0,19	0,08	0,15	0,17	0,11	0,13
Fe	1,23	1,21	1,22	1,19	1,17	1,19	1,24	1,21
Mn	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04
Mg	1,54	1,51	1,44	1,49	1,48	1,50	1,54	1,50
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Si	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,97	6,00	6,00	6,00	5,94	5,96	5,96	5,97
Al	0,03	0,00	0,00	0,00	0,06	0,04	0,04	0,02
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,89	3,94	3,93	3,95	3,84	3,78	3,87	3,89
F	0,11	0,06	0,07	0,05	0,16	0,22	0,13	0,11
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,44	0,44	0,46	0,44	0,44	0,44	0,45	0,45
Na*	0,96	0,96	0,96	0,95	0,96	0,96	0,96	0,96
ΣC⁺	58,04	58,13	57,96	58,17	58,00	57,94	57,99	58,03

CA2-003a/8 a 17 – Dravita – Pegmatito Capoeira 2 (zona II) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) e Na* = Na/(Na+Ca); ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Média
%peso	Preta										
SiO ₂	36,40	35,28	36,17	36,00	36,02	35,96	35,75	36,14	35,64	36,15	35,95
TiO ₂	0,17	0,12	0,28	0,33	0,27	0,37	0,31	0,28	0,28	0,29	0,27
Al ₂ O ₃	32,90	32,62	31,54	31,42	31,15	31,29	30,97	32,02	31,82	31,99	31,77
FeO	7,58	7,57	9,12	9,03	9,10	8,93	9,11	8,22	8,53	8,79	8,60
MnO	0,31	0,26	0,28	0,29	0,23	0,27	0,52	0,19	0,24	0,24	0,28
MgO	5,81	5,71	5,99	5,93	5,99	5,97	5,51	6,00	5,72	5,82	5,85
CaO	0,12	0,10	0,20	0,19	0,21	0,19	0,13	0,18	0,21	0,21	0,17
Na ₂ O	2,13	2,15	2,49	2,54	2,53	2,49	2,34	2,41	2,44	2,38	2,39
K ₂ O	0,03	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	0,04	0,05	0,05	0,05
CuO	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,03	0,03	0,01	0,01
F	0,13	0,00	0,32	0,24	0,17	0,14	0,05	0,18	0,09	0,20	0,15
ZnO	0,07	0,06	0,14	0,17	0,15	0,12	0,04	0,14	0,10	0,12	0,11
Total	85,63	83,96	86,59	86,21	85,88	85,79	84,77	85,81	85,16	86,25	85,60
apfu											
Ca	0,02	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03
Na	0,68	0,70	0,79	0,81	0,81	0,80	0,76	0,77	0,79	0,76	0,77
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,29	0,27	0,16	0,14	0,14	0,15	0,20	0,19	0,16	0,19	0,19
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03
Al	0,35	0,39	0,05	0,07	0,07	0,09	0,14	0,19	0,20	0,16	0,17
Li	0,11	0,05	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,12	0,09	0,12	0,10
Fe	1,04	1,06	1,25	1,25	1,26	1,24	1,28	1,13	1,19	1,21	1,19
Mn	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,07	0,03	0,03	0,03	0,04
Mg	1,42	1,43	1,47	1,46	1,48	1,48	1,38	1,48	1,42	1,43	1,45
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,98	5,93	5,94	5,95	5,98	5,97	6,00	5,96	5,95	5,95	5,96
Al	0,02	0,07	0,06	0,05	0,02	0,03	0,00	0,04	0,05	0,05	0,04
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,94	4,00	3,83	3,87	3,91	3,93	3,97	3,91	3,95	3,90	3,92
F	0,06	0,00	0,17	0,13	0,09	0,07	0,03	0,09	0,05	0,10	0,08
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,42	0,43	0,46	0,46	0,46	0,46	0,48	0,43	0,46	0,46	0,45
Na*	0,97	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	0,97	0,96	0,96	0,95	0,96
ΣC ⁺	58,28	58,32	57,96	58,01	58,05	58,10	58,20	58,13	58,16	58,11	58,13

CA2-002/1 a 7 – Elbaíta azul turquesa – Pegmatito Capoeira 2 (zona de albíta) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 n.a. = não analisado (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)
 $Fe^* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e $Na^* = Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	Média
%peso	Azul turquesa							
SiO ₂	37,71	37,53	37,42	37,80	37,77	37,58	37,73	37,65
TiO ₂	0,00	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,05	0,01
Al ₂ O ₃	41,10	40,48	40,49	40,54	40,83	40,85	40,99	40,75
FeO	0,02	0,01	0,05	0,01	0,00	0,00	0,04	0,02
MnO	0,78	0,64	1,00	0,81	0,77	0,95	0,81	0,82
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,29	0,29	0,51	0,33	0,35	0,52	0,58	0,41
Na ₂ O	1,86	1,76	1,76	1,78	1,74	1,77	1,85	1,79
K ₂ O	0,01	0,01	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01
CuO	0,82	0,76	1,07	0,37	0,82	0,63	0,80	0,75
F	0,77	0,71	1,08	0,88	0,79	1,08	1,00	0,90
ZnO	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Total	83,37	82,24	83,41	82,52	83,07	83,40	83,85	83,12
apfu								
Ca	0,05	0,05	0,09	0,06	0,06	0,09	0,10	0,07
Na	0,57	0,55	0,54	0,55	0,54	0,54	0,57	0,55
K	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vac.	0,37	0,40	0,36	0,39	0,40	0,36	0,33	0,37
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Al	1,71	1,69	1,56	1,65	1,68	1,61	1,61	1,64
Li	1,08	1,08	1,17	1,15	1,09	1,19	1,18	1,13
Fe	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,11	0,09	0,14	0,11	0,10	0,13	0,11	0,11
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,10	0,09	0,13	0,04	0,10	0,08	0,10	0,09
Zn								
Si	0,00	0,05	0,00	0,05	0,03	0,00	0,00	0,02
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	6,00	5,96	6,00	6,00	5,96	5,97	5,98
Al	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,04	0,03	0,02
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,61	3,64	3,46	3,56	3,60	3,60	3,50	3,57
F	0,39	0,36	0,54	0,44	0,40	0,40	0,50	0,43
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	1,00	0,72	1,00	1,00	1,00		0,91	0,94
Na*	0,92	0,92	0,86	0,91	0,90	0,86	0,85	0,89
ΣC⁺	58,68	58,77	58,45	58,66	58,71	58,47	58,51	58,61

CA2-002a/8 a 13 – Elbaíta azul turquesa – Pegmatito Capoeira 2 (zona de albíta) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 n.a. = não analisado (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP) $Fe^* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e $Na^* = Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	8	9	10	11	12	13	Média
%peso	Azul turquesa						
SiO ₂	37,90	38,09	37,87	37,79	37,70	38,09	37,91
TiO ₂	0,05	0,02	0,00	0,04	0,00	0,04	0,02
Al ₂ O ₃	42,28	41,63	41,94	41,66	40,07	41,15	41,45
FeO	0,03	0,06	0,06	0,02	0,10	0,00	0,04
MnO	0,97	0,98	0,94	0,15	0,23	0,21	0,58
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
CaO	0,11	0,08	0,10	0,21	0,29	0,20	0,17
Na ₂ O	1,74	1,75	1,79	1,85	1,79	1,91	1,80
K ₂ O	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01
CuO	0,17	0,15	0,09	1,06	0,97	0,96	0,57
F	0,60	0,67	0,59	0,60	0,88	0,90	0,71
ZnO	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Total	83,86	83,44	83,37	83,38	82,07	83,47	83,26
apfu							
Ca	0,02	0,01	0,02	0,04	0,05	0,03	0,03
Na	0,53	0,54	0,55	0,57	0,56	0,59	0,56
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vac.	0,45	0,45	0,43	0,39	0,39	0,38	0,41
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,84	1,77	1,84	1,80	1,61	1,68	1,76
Li	0,95	1,01	0,89	1,03	1,12	1,09	1,02
Fe	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,11	0,09	0,14	0,11	0,10	0,10	0,11
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,10	0,09	0,13	0,04	0,10	0,10	0,09
Zn							
Si	0,00	0,03	0,00	0,01	0,07	0,03	0,02
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,98	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,70	3,66	3,70	3,70	3,55	3,55	3,64
F	0,30	0,34	0,30	0,30	0,45	0,45	0,36
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	1,00	0,72	1,00	1,00	1,00	1,00	0,95
Na*	0,97	0,98	0,97	0,94	0,92	0,94	0,95
ΣC⁺	58,88	58,84	58,99	58,83	58,68	58,68	58,86

4.4 - Pegmatito Capoeira 3

CA3-001/1 a 6 – Dravita – Pegmatito Capoeira 3 (zona I) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li= Σ Y-3 n.a. = não analisado (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP); Fe* = $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e Na* = $Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	Média
%peso	Preta						
SiO ₂	36,66	36,58	36,43	36,10	36,40	36,18	36,39
TiO ₂	0,45	0,30	0,37	0,19	0,31	0,34	0,32
Al ₂ O ₃	32,07	31,85	31,85	31,05	31,82	31,32	31,66
FeO	8,10	8,01	7,83	7,87	7,78	7,61	7,87
MnO	0,19	0,21	0,23	0,24	0,19	0,19	0,21
MgO	7,09	7,09	7,11	7,22	7,05	7,14	7,12
CaO	0,46	0,45	0,48	0,46	0,48	0,43	0,46
Na ₂ O	2,28	2,32	2,35	2,26	2,31	2,20	2,28
K ₂ O	0,05	0,04	0,06	0,06	0,07	0,06	0,05
CuO	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
F	0,42	0,24	0,38	0,20	0,23	0,35	0,30
ZnO	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Total	87,76	87,10	87,10	85,63	86,64	85,81	86,67
apfu							
Ca	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,07	0,08
Na	0,71	0,73	0,74	0,72	0,73	0,70	0,72
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,20	0,18	0,17	0,18	0,17	0,21	0,19
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,05	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04
Al	0,02	0,03	0,00	0,01	0,05	0,01	0,02
Li	0,11	0,09	0,14	0,06	0,11	0,13	0,11
Fe	1,09	1,09	1,06	1,09	1,06	1,05	1,07
Mn	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03
Mg	1,70	1,72	1,72	1,78	1,71	1,75	1,73
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn							
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,90	5,94	5,91	5,96	5,94	5,94	5,93
Al	0,10	0,06	0,09	0,04	0,06	0,06	0,07
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,79	3,88	3,80	3,89	3,88	3,82	3,84
F	0,21	0,12	0,20	0,11	0,12	0,18	0,16
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,39	0,39	0,38	0,38	0,38	0,37	0,38
Na*	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
ΣC^+	58,00	58,03	57,92	58,04	58,04	57,98	58,00

CA3-001a/7 a 12 – Dravita – Pegmatito Capoeira 3 (zona I) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). $Fe^* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e $Na^* = Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	7	8	9	10	11	12	Média
%peso	Preta						
SiO ₂	36,35	36,13	35,89	36,43	36,42	36,35	36,26
TiO ₂	0,28	0,37	0,34	0,23	0,21	0,23	0,28
Al ₂ O ₃	32,66	32,06	31,97	32,42	32,68	32,55	32,39
FeO	8,13	8,52	7,99	8,21	8,15	7,96	8,16
MnO	0,31	0,35	0,29	0,38	0,26	0,27	0,31
MgO	5,94	6,01	5,98	5,90	5,82	6,00	5,94
CaO	0,17	0,19	0,19	0,22	0,17	0,17	0,18
Na ₂ O	2,09	2,15	2,13	2,18	2,00	2,15	2,12
K ₂ O	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04
CuO	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01
F	0,26	0,28	0,32	0,26	0,22	0,22	0,26
ZnO	0,21	0,13	0,24	0,24	0,00	0,35	0,19
Total	86,43	86,22	85,38	86,53	85,96	86,28	86,13
apfu							
Ca	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03
Na	0,66	0,68	0,68	0,69	0,64	0,68	0,67
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,30	0,27	0,27	0,26	0,33	0,28	0,29
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,03	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Al	0,23	0,14	0,17	0,20	0,28	0,23	0,21
Li	0,11	0,11	0,14	0,13	0,12	0,11	0,12
Fe	1,11	1,17	1,11	1,12	1,12	1,09	1,12
Mn	0,04	0,05	0,04	0,05	0,04	0,04	0,04
Mg	1,45	1,47	1,47	1,44	1,42	1,47	1,45
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,03	0,02	0,03	0,03	0,00	0,04	0,02
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,94	5,93	5,94	5,95	5,97	5,95	5,95
Al	0,06	0,07	0,06	0,05	0,03	0,05	0,05
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,87	3,85	3,83	3,87	3,88	3,89	3,86
F	0,13	0,15	0,17	0,13	0,12	0,11	0,14
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,43	0,44	0,43	0,44	0,44	0,43	0,44
Na*	0,96	0,95	0,95	0,95	0,96	0,96	0,95
ΣC⁺	58,83	58,51	58,58	58,72	59,06	58,85	58,76

4.5 - Pegmatito Quintos

QB-001/1 a 6 – Dravita – Pegmatito Quintos (zona I) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3. n.a. = não analisado (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP) Fe* = $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e Na* = $Na/(Na+Ca)$; ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	Média
%peso	Preta						
SiO ₂	36,18	35,96	36,01	36,25	35,96	35,75	36,02
TiO ₂	0,12	0,22	0,21	0,15	0,24	0,16	0,18
Al ₂ O ₃	31,62	31,45	31,73	31,79	31,65	30,80	31,51
FeO	7,14	7,24	7,03	7,19	7,25	6,84	7,12
MnO	0,21	0,27	0,14	0,24	0,18	0,26	0,22
MgO	7,42	7,17	7,30	7,33	7,33	7,69	7,37
CaO	0,31	0,32	0,30	0,31	0,34	0,37	0,33
Na ₂ O	2,34	2,32	2,44	2,30	2,33	2,39	2,35
K ₂ O	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05
CuO	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01
F	0,14	0,32	0,19	0,25	0,32	0,39	0,27
ZnO	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Total	85,51	85,35	85,43	85,86	85,64	84,72	85,42
apfu							
Ca	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,07	0,06
Na	0,75	0,74	0,78	0,73	0,74	0,77	0,75
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,19	0,19	0,16	0,20	0,19	0,15	0,18
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02
Al	0,10	0,05	0,10	0,09	0,05	0,03	0,07
Li	0,05	0,12	0,09	0,09	0,11	0,06	0,09
Fe	0,98	1,00	0,97	0,99	1,00	0,95	0,98
Mn	0,03	0,04	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03
Mg	1,82	1,76	1,79	1,79	1,80	1,90	1,81
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn							
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,96	5,93	5,93	5,94	5,91	5,93	5,94
Al	0,04	0,07	0,07	0,06	0,09	0,00	0,05
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	5,93	5,99
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,93	3,83	3,90	3,87	3,84	3,80	3,86
F	0,07	0,17	0,10	0,13	0,16	0,20	0,14
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,35	0,36	0,35	0,35	0,36	0,33	0,35
Na*	0,93	0,93	0,94	0,93	0,92	0,92	0,93
ΣC⁺	58,09	57,97	58,04	58,03	57,97	57,81	57,99

QB-001b/7 a 16 – Dravita – Pegmatito Quintos (zona I) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e Na* = $Na/(Na+Ca)$; ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	Média
%peso	Preta										
SiO ₂	35,81	35,99	36,22	36,12	36,25	36,33	36,26	36,24	36,56	36,65	36,24
TiO ₂	0,19	0,14	0,15	0,21	0,14	0,20	0,22	0,08	0,20	0,19	0,17
Al ₂ O ₃	30,73	31,00	30,99	31,01	30,93	31,15	31,14	31,11	30,94	31,08	31,01
FeO	6,01	6,47	6,58	6,49	6,57	6,51	6,34	6,52	6,60	6,16	6,42
MnO	0,15	0,23	0,16	0,24	0,13	0,27	0,17	0,26	0,17	0,22	0,20
MgO	8,24	8,03	7,78	7,87	7,79	7,90	7,84	7,91	7,83	7,99	7,92
CaO	0,46	0,41	0,41	0,42	0,40	0,42	0,42	0,43	0,45	0,43	0,42
Na ₂ O	2,43	2,45	2,45	2,44	2,46	2,40	2,42	2,43	2,51	2,37	2,43
K ₂ O	0,04	0,05	0,07	0,05	0,05	0,07	0,06	0,04	0,05	0,06	0,05
CuO	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01
F	0,44	0,46	0,50	0,54	0,37	0,60	0,40	0,39	0,32	0,51	0,45
ZnO	0,15	0,17	0,17	0,14	0,18	0,19	0,16	0,13	0,19	0,16	0,16
Total	84,65	85,39	85,46	85,52	85,27	86,02	85,41	85,53	85,83	85,84	85,49
apfu											
Ca	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07
Na	0,78	0,78	0,78	0,78	0,79	0,76	0,77	0,77	0,80	0,75	0,77
K	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Vac.	0,13	0,14	0,14	0,14	0,13	0,15	0,14	0,14	0,11	0,16	0,14
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02
Al	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,01
Li	0,07	0,06	0,13	0,11	0,12	0,11	0,12	0,09	0,11	0,14	0,11
Fe	0,83	0,89	0,90	0,89	0,90	0,89	0,87	0,90	0,90	0,84	0,88
Mn	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,04	0,02	0,03	0,03
Mg	2,03	1,97	1,90	1,92	1,91	1,92	1,92	1,94	1,91	1,94	1,94
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	5,99	6,00	6,00	5,99	6,00	5,98	6,00	6,00	5,97	5,97	5,99
ΣZ	5,99	6,00	6,00	5,99	6,00	5,98	6,00	6,00	5,97	5,97	5,99
Si	5,93	5,92	5,95	5,92	5,97	5,92	5,95	5,95	5,99	5,97	5,95
Al	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	5,93	5,92	5,95	5,92	5,97	5,92	5,95	5,95	5,99	5,97	5,95
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,77	3,76	3,74	3,72	3,81	3,69	3,79	3,80	3,83	3,74	3,77
F	0,23	0,24	0,26	0,28	0,19	0,31	0,21	0,20	0,17	0,26	0,23
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,29	0,31	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,32	0,32	0,30	0,31
Na*	0,91	0,92	0,92	0,91	0,92	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91
ΣC⁺	57,74	57,72	57,75	57,69	57,87	57,65	57,85	57,83	57,89	57,78	57,78

QB-002/1 a 6 – Elbaíta verde-rósea – Pegmatito Quintos (porção central) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3. n.a. = não analisado (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Faixa verde: pontos 1 e 2; faixa rósea: pontos 3 a 6. Fe* = $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e Na* = $Na/(Na+Ca)$; ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6
	Rósea			Verde		
%peso						
SiO ₂	37,24	37,33	37,75	36,38	36,68	37,12
TiO ₂	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00
Al ₂ O ₃	41,77	41,51	41,93	40,54	40,37	40,05
FeO	0,00	0,02	0,03	0,08	0,22	0,45
MnO	0,21	0,24	0,24	0,51	0,58	0,69
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05
CaO	0,05	0,06	0,06	0,40	0,38	0,40
Na ₂ O	1,82	1,72	1,59	1,75	1,85	1,90
K ₂ O	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
CuO	0,34	0,43	0,30	1,15	1,12	0,92
F	0,41	0,66	0,58	0,70	0,93	0,89
ZnO	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.
Total	81,85	82,02	82,50	81,52	82,18	82,48
apfu						
Ca	0,01	0,01	0,01	0,07	0,07	0,07
Na	0,57	0,54	0,49	0,55	0,58	0,59
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vac.	0,42	0,45	0,49	0,37	0,35	0,34
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	1,94	1,86	1,89	1,73	1,63	1,60
Li	0,98	1,05	1,02	1,04	1,12	1,12
Fe	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,06
Mn	0,03	0,03	0,03	0,07	0,08	0,09
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
Cu	0,04	0,05	0,04	0,14	0,14	0,11
Zn						
Si	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	6,00	6,00	5,94	5,93	5,99
Al	0,00	0,00	0,00	0,06	0,07	0,01
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,79	3,66	3,71	3,64	3,52	3,54
F	0,21	0,34	0,29	0,36	0,48	0,46
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*		1,00	1,00	1,00	0,84	0,83
Na*	0,98	0,98	0,98	0,89	0,90	0,89
ΣC⁺	58,99	58,83	58,92	58,70	58,51	58,54

QB-007/3 a 7 – Elbaíta azul clara – Pegmatito Quintos (porção central) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3. n.a. = não analisado (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) e Na* = Na/(Na+Ca); ΣC⁺ = soma da carga dos cátions

Óxidos	3	4	5	6	7	Média
%peso	Azul clara					
SiO ₂	38,03	37,89	38,38	38,21	37,96	38,10
TiO ₂	0,05	0,00	0,05	0,10	0,03	0,05
Al ₂ O ₃	39,81	40,56	42,38	41,61	41,58	41,19
FeO	0,04	0,03	0,16	0,13	0,06	0,08
MnO	0,33	0,34	0,29	0,26	0,29	0,30
MgO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01
CaO	0,70	0,72	0,39	0,38	0,34	0,50
Na ₂ O	1,88	1,88	1,77	1,82	1,77	1,82
K ₂ O	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
CuO	1,73	1,64	1,10	0,78	0,83	1,21
F	0,70	1,14	0,83	0,86	0,82	0,87
ZnO	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	n.a.	
Total	83,28	84,20	85,37	84,17	83,67	84,14
apfu						
Ca	0,12	0,12	0,01	0,06	0,06	0,07
Na	0,58	0,57	0,53	0,55	0,54	0,56
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vac.	0,29	0,30	0,46	0,38	0,40	0,37
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Al	1,52	1,53	1,72	1,70	1,74	1,64
Li	1,13	1,23	1,09	1,14	1,11	1,14
Fe	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,01
Mn	0,04	0,05	0,04	0,03	0,04	0,04
Mg	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Cu	0,21	0,20	0,13	0,09	0,10	0,14
Zn						
Si	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	5,98	5,96	6,00	6,00	5,99
Al	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,01
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,65	3,43	3,59	3,57	3,59	3,57
F	0,35	0,57	0,41	0,43	0,41	0,43
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	1,00	1,00	0,97	0,77	0,80	0,91
Na*	0,83	0,82	0,99	0,90	0,90	0,89
ΣC⁺	58,70	58,40	58,59	58,66	58,69	58,61

QB-007a/8 a 10 – Elbaíta rósea – Pegmatito Quintos (porção central) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li=ΣY-3. n.a. = não analisado (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = $Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg)$ e Na* = $Na/(Na+Ca)$; ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	8	9	10	Média
%peso	Rósea			
SiO ₂	37,66	38,08	38,22	37,98
TiO ₂	0,00	0,00	0,05	0,02
Al ₂ O ₃	41,34	41,77	42,38	41,83
FeO	0,08	0,07	0,10	0,08
MnO	0,23	0,19	0,19	0,20
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,07	0,07	0,12	0,08
Na ₂ O	1,84	1,67	1,73	1,75
K ₂ O	0,01	0,01	0,02	0,02
CuO	0,56	0,40	0,46	0,48
F	0,58	0,74	0,64	0,65
ZnO	n.a.	n.a.	n.a.	
Total	82,37	83,00	83,90	83,09

apfu				
Ca	0,01	0,01	0,02	0,01
Na	0,57	0,51	0,53	0,54
K	0,00	0,00	0,00	0,00
Vac.	0,41	0,47	0,45	0,45
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,00	0,01	0,00
Al	1,81	1,80	1,85	1,82
Li	1,04	1,07	1,04	1,05
Fe	0,01	0,01	0,01	0,01
Mn	0,03	0,03	0,03	0,03
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,07	0,05	0,06	0,06
Zn				
Si	0,04	0,04	0,01	0,03
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	6,00	6,00	6,00	6,00
Al	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,71	3,63	3,68	3,67
F	0,29	0,37	0,32	0,33
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	1,00	1,00	1,00	1,00
Na*	0,98	0,98	0,96	0,97
ΣC⁺	58,873	58,82	58,86	58,85

QB-025/1 a 10 – Elbaíta azul escura – Pegmatito Quintos (porção central) – Cátions calculados para 24,5 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e considerando OH+F=4 e Li= ΣY -3 (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP). Fe* = Fe_{tot}/(Fe_{tot}+Mg) e Na* = Na/(Na+Ca); ΣC^+ = soma da carga dos cátions

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
%peso	Azul escura										
SiO ₂	36,96	36,55	36,55	37,03	36,69	36,77	36,73	36,90	36,91	36,63	36,77
TiO ₂	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02	0,04	0,10	0,01	0,01	0,06	0,04
Al ₂ O ₃	39,92	40,13	39,78	39,83	40,09	39,68	40,44	39,83	40,36	40,29	40,03
FeO	0,08	0,03	0,05	0,04	0,08	0,04	0,05	0,01	0,00	0,02	0,04
MnO	2,18	1,88	1,98	2,23	2,07	1,99	1,82	1,96	1,72	1,80	1,96
MgO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CaO	0,30	0,23	0,31	0,24	0,27	0,37	0,28	0,38	0,44	0,32	0,31
Na ₂ O	2,20	2,12	2,12	2,10	2,10	2,06	2,11	2,16	2,13	2,14	2,12
K ₂ O	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,01
CuO	1,00	1,00	1,01	0,96	1,04	0,96	0,98	1,13	1,08	1,08	1,02
F	0,93	1,19	1,40	1,02	1,31	1,21	1,75	1,08	1,11	1,29	1,23
ZnO	0,00	0,03	0,02	0,00	0,07	0,01	0,05	0,05	0,03	0,03	0,03
Total	83,61	83,19	83,26	83,51	83,75	83,14	84,33	83,52	83,79	83,66	83,57
apfu											
Ca	0,05	0,04	0,05	0,04	0,05	0,06	0,05	0,07	0,07	0,05	0,05
Na	0,68	0,66	0,66	0,65	0,65	0,64	0,65	0,67	0,66	0,66	0,66
K	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vac.	0,26	0,30	0,29	0,30	0,30	0,29	0,30	0,26	0,27	0,28	0,29
ΣX	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Ti	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Al	1,49	1,47	1,38	1,47	1,40	1,43	1,31	1,45	1,48	1,43	1,43
Li	1,08	1,15	1,22	1,10	1,17	1,17	1,31	1,14	1,15	1,18	1,17
Fe	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Mn	0,30	0,26	0,27	0,30	0,28	0,27	0,24	0,27	0,23	0,24	0,27
Mg	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,12	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,12	0,14	0,13	0,13	0,12
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00
Si	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ΣY	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Al	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
ΣZ	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Si	5,93	5,87	5,86	5,94	5,86	5,91	5,79	5,92	5,89	5,85	5,88
Al	0,07	0,13	0,14	0,06	0,14	0,09	0,21	0,08	0,11	0,15	0,12
ΣT	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
B	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
ΣB	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
OH	3,53	3,40	3,29	3,48	3,34	3,38	3,13	3,45	3,44	3,35	3,38
F	0,47	0,60	0,71	0,52	0,66	0,62	0,87	0,55	0,56	0,65	0,62
ΣW	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Fe*	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	0,96	1,00	1,00	0,12	1,00	0,90
Na*	0,93	0,94	0,93	0,94	0,93	0,91	0,93	0,91	0,90	0,92	0,92
ΣC^+	58,40	58,24	58,09	58,37	58,14	58,23	57,86	58,30	58,29	58,16	58,21

5.2 – Pegmatito Quintos

Análises químicas de Ti-ixiolita do pegmatito Quintos, calculadas para 24(O), obtidas por microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP

Óxidos %peso	QB-8/40	QB-8/41	QB-8/42	QB-8/43	QB-8/44	QB-8/45	QB-8/46
Ta ₂ O ₅	10,82	21,88	9,42	24,24	12,86	11,53	10,16
Nb ₂ O ₅	37,16	28,74	36,03	27,74	34,14	35,16	35,72
TiO ₂	29,14	25,93	33,47	25,01	30,92	31,9	32,95
WO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,52	0,6	0,48	0,54	0,46	0,43	0,46
Fe ₂ O ₃ (calc)	16,94	17,53	16,59	17,33	16,58	17,39	17,34
FeO(calc)	3,43	2,59	3,18	2,86	3,19	2,89	2,83
SnO ₂	0,35	0,40	0,55	0,39	0,54	0,57	0,52
CaO	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02
Na ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al ₂ O ₃	0,29	0,30	0,27	0,34	0,29	0,32	0,27
Total	98,67	98,00	100,00	98,45	98,98	100,19	100,27
FeO(total)	18,85	18,53	18,26	18,61	18,26	18,69	18,59
apfu							
Ta	0,61	1,30	0,51	1,45	0,72	0,63	0,55
Nb	3,46	2,84	3,25	2,77	3,18	3,21	3,23
Ti	4,52	4,27	5,02	4,15	4,79	4,84	4,95
W	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,09	0,11	0,08	0,10	0,08	0,07	0,08
Fe ³⁺ (calc)	2,63	2,89	2,49	2,88	2,57	2,64	2,61
Fe ²⁺ (calc)	0,59	0,47	0,53	0,53	0,55	0,49	0,47
Sn	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04
Ca	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al	0,07	0,08	0,06	0,09	0,07	0,08	0,06
Total	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00
Mn/(Mn+Fe)	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02
Ta/(Ta+Nb)	0,15	0,31	0,14	0,35	0,19	0,17	0,15

Análises químicas de Ti-ixiolita do pegmatito Quintos, calculadas para 24 (O), obtidas por microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP

Óxidos %peso	QB-8/62	QB-8/63	QB-8/64	QB-8/65	QB-8/66	QB-8/67	QB-8/68	QB-8/69	QB-8/70	QB-8/71	QB-8/72	QB-8/73
Ta ₂ O ₅	11,09	12,80	23,31	26,28	23,14	28,51	31,24	43,41	28,13	17,30	11,58	11,71
Nb ₂ O ₅	36,56	35,87	28,61	30,50	28,55	28,99	27,05	16,51	29,04	32,59	40,12	37,10
TiO ₂	30,92	29,20	24,89	18,99	27,05	19,19	19,53	18,46	18,27	28,99	25,6	30,08
WO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,50	0,57	0,49	1,17	0,63	1,41	1,37	1,63	0,75	0,5	0,65	0,5
Fe ₂ O ₃ (calc)	18,15	18,15	18,26	17,59	16,44	16,03	15,75	13,32	15,67	16,66	17,63	17,74
FeO(calc)	2,60	2,71	2,62	3,11	3,17	3,57	3,67	3,58	4,46	3,39	3,91	3,14
SnO ₂	0,30	0,46	0,43	0,05	0,41	0,04	0,05	0,12	0,23	0,47	0,32	0,28
CaO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na ₂ O	0,06	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
Al ₂ O ₃	0,31	0,37	0,22	0,34	0,32	0,36	0,36	0,41	0,22	0,32	0,33	0,29
Total	100,50	100,15	98,84	98,04	99,74	98,10	99,02	97,44	96,77	100,22	100,14	100,87
FeO(total)	19,1	19,21	19,23	19,11	18,12	18,15	17,99	15,69	18,7	18,54	19,94	19,26
apfu												
Ta	0,61	0,71	1,39	1,63	1,36	1,79	1,96	2,95	1,80	0,98	0,65	0,64
Nb	3,33	3,31	2,83	3,15	2,78	3,03	2,83	1,86	3,09	3,07	3,74	3,38
Ti	4,68	4,49	4,10	3,26	4,38	3,33	3,39	3,46	3,23	4,54	3,97	4,56
W	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Mn	0,08	0,10	0,09	0,23	0,12	0,28	0,27	0,34	0,15	0,09	0,11	0,09
Fe ³⁺ (calc)	2,75	2,79	3,01	3,03	2,67	2,78	2,74	2,50	2,77	2,61	2,74	2,69
Fe ²⁺ (calc)	0,44	0,46	0,48	0,60	0,57	0,69	0,71	0,75	0,88	0,59	0,67	0,53
Sn	0,02	0,04	0,04	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,03	0,02
Ca	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Na	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Al	0,07	0,09	0,06	0,09	0,08	0,10	0,10	0,12	0,06	0,08	0,08	0,07
Total	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	12,00	11,99	12,00	12,00	12,00	12,00
Mn/(Mn+Fe)	0,03	0,03	0,03	0,06	0,04	0,07	0,07	0,10	0,04	0,03	0,03	0,03
Ta/(Ta+Nb)	0,15	0,18	0,33	0,34	0,33	0,37	0,41	0,61	0,37	0,24	0,15	0,16

Análises químicas de Cs-Bi-tantita do pegmatito Quintos, calculadas para 24 (O), obtidas por microsonda eletrônica, GeoForschungsZentrum Potsdam, Alemanha

Oxidos	QB-7/11	QB-7/12	QB-7/13
%peso			
Ta ₂ O ₅	63,37	63,52	64,77
Nb ₂ O ₅	4,83	4,85	5,20
TiO ₂	0,08	0,03	0,08
WO ₃	0,00	0,00	0,00
MnO	1,45	1,10	1,74
FeO	0,04	0,00	0,07
SnO ₂	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,00
CaO	2,06	1,68	4,21
Na ₂ O	1,38	1,44	1,22
Al ₂ O ₃	0,00	0,00	0,02
Bi ₂ O ₃	21,26	22,23	16,18
Sb ₂ O ₃	n.a.	n.a.	n.a.
UO ₂	0,00	0,00	0,00
Total	94,47	94,84	93,48
apfu			
Ta	6,67	6,71	6,63
Nb	0,85	0,85	0,88
Ti	0,02	0,01	0,02
W	0,00	0,00	0,00
Mn	0,48	0,36	0,56
Fe	0,01	0,00	0,02
Sn	0,00	0,00	0,00
Mg	0,00	0,00	0,00
Ca	0,86	0,70	1,70
Na	1,03	1,09	0,89
Al	0,00	0,00	0,01
Bi	2,20	2,31	1,63
Sb			
U	0,00	0,00	0,00
Total	12,12	12,03	12,33
Mn/(Mn+Fe)	0,97	1,00	0,97
Ta/(Ta+Nb)	0,89	0,89	0,88

Anexo VI – Análises Químicas das Granadas

6.1 – Pegmatito Boqueirão

BO-006/1 a 6 – Granada da zona II do pegmatito Boqueirão, com cátions calculados para 24 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos %peso	1	2	3	4	5	6	Média
SiO ₂	36,37	36,34	36,22	36,39	36,36	36,13	36,30
Al ₂ O ₃	20,65	20,57	20,44	20,52	20,55	20,54	20,54
TiO ₂	0,04	0,10	0,11	0,12	0,15	0,06	0,10
FeO	14,26	13,91	14,02	13,78	13,82	14,12	13,98
MnO	26,26	26,91	26,51	27,03	26,47	26,23	26,57
MgO	1,27	1,25	1,25	1,24	1,21	1,26	1,25
CaO	0,30	0,29	0,30	0,30	0,27	0,30	0,29
Na ₂ O	0,04	0,01	0,02	0,00	0,01	0,03	0,02
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01	0,04	0,02
Total	99,21	99,40	98,88	99,38	98,86	98,70	99,07
apfu							
Mn	3,66	3,75	3,71	3,77	3,70	3,68	3,71
Fe ²⁺	1,94	1,88	1,91	1,88	1,91	1,93	1,91
Mg	0,31	0,31	0,31	0,30	0,30	0,31	0,31
Ca	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Na	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total X	5,97	5,99	5,99	6,00	5,96	5,99	5,98
Al ^{VI}	4,00	3,97	3,97	3,97	4,00	3,99	3,98
Fe ³⁺	0,02	0,03	0,02	0,02		0,03	0,02
Ti	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,02	4,01	4,01	4,01	4,02	4,03	4,02
Si	5,99	5,98	5,99	5,99	6,00	5,98	5,99
Al ^{IV}	0,01	0,02	0,01	0,01		0,02	0,01
Total Z	6,00						
Total	15,99	16,01	16,00	16,01	15,98	16,01	16,00
Esp	61,13	62,29	61,75	62,59	62,16	61,33	61,87
Alm	32,78	31,79	32,25	31,51	32,03	32,59	32,16
Pir	5,21	5,08	5,13	5,03	5,01	5,18	5,11
Gro	0,89	0,84	0,88	0,87	0,80	0,90	0,86
Mn/(Mn+Fe)	0,65	0,66	0,66	0,67	0,66	0,65	0,66

Composição molecular média: Esp_{61,9}Alm_{32,1}Pir_{5,1}Gro_{0,9}

BO-006a/7 a 9 – Granada da zona II do pegmatito Boqueirão, com cátions calculados para 24 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos	7	8	9	Média
%peso				
SiO ₂	36,88	36,24	36,98	36,70
Al ₂ O ₃	20,85	20,65	21,08	20,86
TiO ₂	0,09	0,08	0,03	0,07
FeO	14,17	14,30	14,21	14,22
MnO	26,08	26,65	26,40	26,38
MgO	1,21	1,26	1,26	1,24
CaO	0,28	0,29	0,32	0,30
Na ₂ O	0,00	0,04	0,03	0,02
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,00	0,01
Y ₂ O ₃	0,03	0,03	0,04	0,03
Total	99,61	99,53	100,34	99,83
apfu				
Mn	3,61	3,71	3,63	3,65
Fe ²⁺	1,94	1,87	1,93	1,91
Mg	0,30	0,31	0,30	0,30
Ca	0,05	0,05	0,06	0,05
Na	0,00	0,01	0,01	0,01
Y	0,00	0,00	0,00	0,00
Total X	5,90	5,96	5,93	5,92
Al ^{VI}	4,02	3,96	4,04	4,00
Fe ³⁺		0,09		0,03
Ti	0,01	0,01	0,00	0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,03	4,06	4,04	4,04
Si	6,03	5,96	6,01	6,00
Al ^{IV}		0,04		0,01
Total Z	6,03	6,00	6,01	6,01
Total	15,95	16,03	15,98	15,98
Esp	61,28	61,48	61,34	61,36
Alm	32,86	32,57	32,58	32,67
Pir	5,02	5,10	5,14	5,09
Gro	0,84	0,86	0,94	0,88
Mn/(Mn+Fe)	0,65	0,65	0,65	0,65

Composição molecular média: Esp_{61,4}Alm_{32,7}Pir_{5,1}Gro_{0,9}

BO-013/1 a 8 – Granada de corpo de substituição do pegmatito Boqueirão, com cátions calculados para 24 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	Média
%peso									
SiO ₂	36,33	36,07	36,04	36,41	36,54	36,45	36,23	36,32	36,30
Al ₂ O ₃	21,02	20,84	20,58	20,57	20,58	20,64	20,52	20,85	20,70
TiO ₂	0,01	0,07	0,00	0,06	0,06	0,09	0,04	0,03	0,04
FeO	15,01	15,41	15,27	15,42	15,46	15,46	15,10	15,26	15,30
MnO	25,45	24,59	25,63	24,98	24,76	25,28	24,24	25,50	25,05
MgO	1,28	1,90	1,89	1,70	2,02	1,99	1,80	2,02	1,82
CaO	0,45	0,44	0,42	0,40	0,43	0,42	0,42	0,45	0,43
Na ₂ O	0,01	0,00	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,00	0,02	0,03	0,00	0,04	0,01	0,08	0,01	0,02
Total	99,57	99,35	99,85	99,56	99,91	100,37	98,45	100,45	99,69
apfu									
Mn	3,54	3,42	3,56	3,47	3,42	3,49	3,39	3,52	3,48
Fe ²⁺	2,03	1,97	1,81	2,01	1,97	1,89	2,07	1,83	1,95
Mg	0,31	0,47	0,46	0,41	0,49	0,48	0,44	0,49	0,45
Ca	0,08	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08
Na	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Total X	5,96	5,94	5,91	5,97	5,97	5,94	6,00	5,92	5,96
Al ^{VI}	4,02	3,95	3,89	3,95	3,93	3,90	3,99	3,91	3,94
Fe ³⁺	0,03	0,15	0,28	0,11	0,14	0,21	0,02	0,25	0,15
Ti	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,05	4,11	4,17	4,07	4,08	4,12	4,01	4,16	4,10
Si	5,96	5,92	5,91	5,97	5,97	5,94	5,99	5,91	5,95
Al ^{IV}	0,04	0,08	0,09	0,03	0,03	0,06	0,01	0,09	0,05
Total Z	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Total	16,01	16,04	16,08	16,04	16,05	16,06	16,01	16,08	16,06
Esp	59,08	56,26	57,52	57,17	56,13	56,70	56,58	57,07	57,06
Alm	34,39	34,81	33,83	34,83	34,60	34,24	34,79	33,71	34,40
Pir	5,23	7,65	7,45	6,83	8,05	7,87	7,38	7,94	7,30
Gro	1,31	1,27	1,20	1,17	1,22	1,19	1,24	1,29	1,24
Mn/(Mn+Fe)	0,63	0,62	0,63	0,62	0,62	0,62	0,62	0,63	0,62

Composição molecular média: Esp_{57,1}Alm_{34,4}Pir_{7,3}Gro_{1,2}

BO-013a/9 a 14 – Granada de corpo de substituição do pegmatito Boqueirão, com cátions calculados para 24 (O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos	9	10	11	12	13	14	Média
%peso							
SiO ₂	35,62	35,71	36,19	36,09	36,31	36,33	36,04
Al ₂ O ₃	20,49	20,53	20,56	20,58	20,81	20,76	20,62
TiO ₂	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,04	0,01
FeO	13,78	14,03	12,91	14,52	14,29	14,26	13,97
MnO	27,80	29,17	28,51	27,38	25,73	25,37	27,33
MgO	1,07	0,84	0,70	1,29	1,35	1,21	1,08
CaO	0,38	0,30	0,29	0,39	0,42	0,37	0,36
Na ₂ O	0,02	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02
Cr ₂ O ₃	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Total	99,17	100,63	99,20	100,28	98,94	98,37	99,43
apfu							
Mn	3,91	4,07	3,99	3,81	3,59	3,56	3,82
Fe ²⁺	1,66	1,54	1,76	1,72	1,97	1,97	1,77
Mg	0,26	0,21	0,17	0,32	0,33	0,30	0,27
Ca	0,07	0,05	0,05	0,07	0,07	0,06	0,06
Na	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total X	5,91	5,88	5,98	5,92	5,97	5,90	5,93
Al ^{VI}	3,92	3,86	4,00	3,90	4,03	4,05	3,96
Fe ³⁺	0,25	0,39	0,03	0,28			0,16
Ti	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,17	4,25	4,03	4,18	4,03	4,06	4,12
Si	5,91	5,88	5,99	5,92	5,98	6,01	5,95
Al ^{IV}	0,09	0,12	0,01	0,08	0,02		0,05
Total Z	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,01	6,00
Total	16,08	16,13	16,01	16,10	16,00	15,96	16,05
Esp	63,51	65,00	66,51	61,54	60,17	60,34	62,85
Alm	31,09	30,86	29,73	32,23	33,01	33,49	31,73
Pir	4,29	3,31	2,89	5,12	5,57	5,07	4,37
Gro	1,11	0,83	0,87	1,12	1,25	1,10	1,05
Mn/(Mn+Fe)	0,67	0,68	0,69	0,66	0,65	0,64	0,66

Composição molecular média: Esp_{62,8}Alm_{31,7}Pir_{4,4}Gro_{1,1}

6.2 – Pegmatito Capoeira 1

CA1-001a/1 a 6 – Granada da zona I do pegmatito Capoeira 1, com cátions calculados para 24(O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos	1	2	3	4	5	6	Média
%peso							
SiO ₂	36,68	37,10	37,10	36,25	36,63	36,75	36,75
Al ₂ O ₃	20,99	20,98	21,16	20,56	20,71	21,00	20,90
TiO ₂	0,10	0,11	0,05	0,07	0,08	0,06	0,08
FeO	10,76	10,62	11,06	10,55	10,67	10,93	10,76
MnO	28,01	27,79	27,95	28,13	27,98	27,98	27,97
MgO	2,43	2,40	2,41	2,37	2,37	2,50	2,41
CaO	0,19	0,16	0,25	0,17	0,15	0,15	0,18
Na ₂ O	0,04	0,02	0,05	0,04	0,00	0,05	0,03
Cr ₂ O ₃	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,00	0,01
Y ₂ O ₃	0,03	0,05	0,05	0,00	0,08	0,06	0,05
Total	99,22	99,24	100,10	98,18	98,69	99,48	99,15
apfu							
Mn	3,87	3,83	3,82	3,93	3,88	3,86	3,87
Fe ²⁺	1,47	1,44	1,49	1,42	1,46	1,47	1,46
Mg	0,59	0,58	0,58	0,58	0,58	0,61	0,59
Ca	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Total X	5,98	5,89	5,96	5,98	5,96	5,98	5,96
Al ^{VI}	4,01	4,02	4,02	3,98	4,00	4,01	4,01
Fe ³⁺				0,04		0,02	0,01
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,02	4,03	4,03	4,03	4,01	4,04	4,03
Si	5,98	6,03	5,99	5,98	6,00	5,98	5,99
Al ^{IV}	0,02		0,01	0,02		0,02	0,01
Total Z	6,00	6,03	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Total	16,00	15,95	15,99	16,02	15,97	16,01	15,98
Esp	64,91	65,08	64,35	65,51	65,26	64,54	64,94
Alm	24,62	24,55	25,13	24,26	24,58	24,89	24,67
Pir	9,93	9,90	9,78	9,72	9,71	10,13	9,86
Gro	0,54	0,47	0,73	0,51	0,45	0,44	0,53
Mn/(Mn+Fe)	0,72	0,73	0,72	0,73	0,73	0,72	0,72

Composição molecular média: Esp_{64,9}Alm_{24,7}Pir_{9,9}Gro_{0,5}

CA1-007/1 a 8– Granada da zona II do pegmatito Capoeira 1, com cátions calculados para 24(O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	Média
%peso									
SiO ₂	36,22	36,41	36,31	35,95	36,06	36,21	36,39	36,25	36,23
Al ₂ O ₃	23,78	22,51	22,72	22,48	22,48	22,59	22,74	21,73	22,63
TiO ₂	0,04	0,05	0,04	0,07	0,06	0,11	0,00	0,07	0,05
FeO	10,23	10,15	9,87	9,91	9,91	10,00	10,19	10,06	10,04
MnO	27,34	27,65	28,01	28,15	28,55	28,44	27,66	28,10	27,99
MgO	2,39	2,37	2,23	2,28	2,24	2,14	2,38	2,43	2,31
CaO	0,18	0,14	0,14	0,15	0,15	0,14	0,15	0,18	0,15
Na ₂ O	0,06	0,01	0,01	0,04	0,05	0,01	0,03	0,02	0,03
Cr ₂ O ₃	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01
Y ₂ O ₃	0,04	0,01	0,00	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02
Total	100,28	99,32	99,34	99,08	99,51	99,66	99,54	98,87	99,45
apfu									
Mn	3,70	3,79	3,84	3,88	3,92	3,90	3,78	3,88	3,84
Fe ²⁺	1,37	1,37	1,34	1,35	1,34	1,35	1,38	1,37	1,36
Mg	0,57	0,57	0,54	0,55	0,54	0,52	0,57	0,59	0,56
Ca	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03
Na	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total X	5,69	5,76	5,74	5,82	5,84	5,80	5,77	5,88	5,80
Al ^{VI}	4,27	4,18	4,21	4,16	4,15	4,17	4,20	4,09	4,18
Fe ³⁺									
Ti	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,27	4,19	4,21	4,17	4,16	4,18	4,20	4,10	4,19
Si	5,79	5,89	5,88	5,85	5,85	5,86	5,87	5,91	5,86
Al ^{IV}	0,21	0,11	0,12	0,15	0,15	0,14	0,13	0,09	0,14
Total Z	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Total	15,97	15,95	15,96	15,99	16,00	15,98	15,97	15,99	15,99
Esp	65,29	65,79	66,92	66,81	67,23	67,30	65,69	66,07	66,39
Alm	24,13	23,84	23,28	23,22	23,03	23,36	23,90	23,36	23,52
Pir	10,04	9,94	9,37	9,52	9,29	8,91	9,96	10,04	9,63
Gro	0,53	0,42	0,44	0,45	0,45	0,43	0,45	0,54	0,46
Mn/(Mn+Fe)	0,73	0,73	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,74	0,74

Composição molecular média: Esp_{66,4}Alm_{23,5}Pir_{9,6}Gro_{0,5}

6.3 – Pegmatito Capoeira 2

CA2-007a/1 a 7– Granada da zona I do pegmatito Capoeira 2, com cátions calculados para 24(O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	Média
%peso								
SiO ₂	36,98	36,74	35,99	36,65	36,51	36,64	36,38	36,56
Al ₂ O ₃	20,93	22,81	22,61	21,75	21,68	20,78	20,63	21,60
TiO ₂	0,14	0,13	0,07	0,09	0,25	0,17	0,20	0,15
FeO	12,95	12,86	12,76	12,66	12,41	12,29	12,48	12,63
MnO	27,25	26,55	27,06	27,07	27,16	27,77	29,10	27,42
MgO	1,09	1,05	1,04	0,94	0,94	0,80	1,05	0,99
CaO	0,39	0,39	0,40	0,37	0,34	0,39	0,37	0,38
Na ₂ O	0,04	0,04	0,05	0,03	0,05	0,04	0,06	0,04
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,07	0,06	0,05	0,07	0,06	0,01	0,09	0,06
Total	99,85	100,62	100,02	99,63	99,39	98,87	100,35	99,82
apfu								
Mn	3,76	3,62	3,72	3,74	3,76	3,87	4,03	3,79
Fe ²⁺	1,77	1,73	1,73	1,72	1,69	1,69	1,59	1,70
Mg	0,27	0,25	0,25	0,23	0,23	0,20	0,26	0,24
Ca	0,07	0,07	0,07	0,06	0,06	0,07	0,07	0,07
Na	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
Y	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Total X	5,88	5,68	5,80	5,77	5,76	5,85	5,97	5,81
Al ^{VI}	4,02	4,23	4,18	4,15	4,13	4,03	3,93	4,10
Fe ³⁺							0,12	0,12
Ti	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,02	0,02
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,04	4,25	4,19	4,16	4,16	4,05	4,07	4,13
Si	6,03	5,91	5,85	5,97	5,96	6,03	5,95	5,96
Al ^{IV}		0,09	0,15	0,03	0,04		0,05	0,07
Total Z	6,03	6,00	6,00	6,00	6,00	6,03	6,00	6,01
Total	15,95	15,93	15,99	15,93	15,92	15,93	16,04	15,95
Esp	64,18	63,84	64,44	64,92	65,48	66,44	66,54	65,12
Alm	30,12	30,53	30,01	29,97	29,52	29,02	28,17	29,62
Pir	4,54	4,44	4,36	3,98	3,98	3,36	4,21	4,12
Gro	1,16	1,19	1,20	1,12	1,02	1,18	1,07	1,14
Mn/(Mn+Fe)	0,68	0,68	0,68	0,68	0,69	0,70	0,70	0,69

Composição molecular média: Esp_{65,1}Alm_{29,6}Pir_{4,1}Gro_{1,1}

CA2-008/1 a 8– Granada da zona II do pegmatito Capoeira 2, com cátions calculados para 24(O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos	1	2	3	4	5	6	7	8	Média
%peso									
SiO ₂	36,07	35,27	36,14	36,17	36,10	35,92	35,90	36,14	35,96
Al ₂ O ₃	22,66	22,28	20,52	22,57	22,60	22,40	23,43	20,54	22,13
TiO ₂	0,15	0,13	0,17	0,02	0,14	0,17	0,15	0,11	0,13
FeO	12,02	12,08	14,02	12,11	11,98	12,07	11,90	12,09	12,28
MnO	28,49	28,08	28,34	28,16	27,92	27,69	28,01	28,21	28,11
MgO	0,79	0,83	0,84	0,81	0,84	0,80	0,81	0,78	0,81
CaO	0,28	0,28	0,30	0,27	0,29	0,26	0,27	0,28	0,28
Na ₂ O	0,05	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02
Cr ₂ O ₃	0,02	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01
Y ₂ O ₃	0,11	0,07	0,05	0,04	0,06	0,02	0,07	0,09	0,06
Total	100,63	99,05	100,40	100,17	99,98	99,35	100,56	98,27	99,80
apfu									
Mn	3,91	3,92	3,94	3,87	3,84	3,84	3,83	3,97	3,89
Fe ²⁺	1,63	1,66	1,74	1,65	1,63	1,65	1,61	1,68	1,65
Mg	0,19	0,20	0,21	0,20	0,20	0,20	0,20	0,19	0,20
Ca	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Na	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Y	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Total X	5,80	5,85	5,95	5,77	5,74	5,74	5,69	5,91	5,81
Al ^{VI}	4,16	4,14	3,90	4,19	4,20	4,19	4,25	4,03	4,13
Fe ³⁺			0,19						0,02
Ti	0,02	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,18	4,16	4,11	4,19	4,22	4,21	4,27	4,04	4,17
Si	5,84	5,81	5,93	5,87	5,87	5,87	5,79	6,01	5,88
Al ^{IV}	0,16	0,19	0,07	0,13	0,13	0,13	0,21		0,12
Total Z	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,01	6,00
Total	15,98	16,00	16,06	15,96	15,96	15,95	15,96	15,97	15,97
Esp	67,67	67,13	64,35	67,22	67,12	66,97	67,44	67,35	66,91
Alm	28,19	28,52	31,44	28,55	28,43	28,82	28,29	28,51	28,84
Pir	3,30	3,50	3,36	3,40	3,57	3,42	3,44	3,29	3,41
Gro	0,83	0,86	0,85	0,83	0,89	0,79	0,83	0,85	0,84
Mn/(Mn+Fe)	0,71	0,70	0,67	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Composição molecular média: Esp_{66,9}Alm_{28,8}Pir_{3,4}Gro_{0,8}

CA2-007b/1 a 8– Granada da unidade de albita do pegmatito Capoeira 2, com cátions calculados para 24(O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos %peso	1	2	3	4	5	6	7	8	Média
SiO ₂	36,35	36,59	36,22	36,39	36,38	36,24	36,26	36,23	36,33
Al ₂ O ₃	22,49	20,52	22,51	20,50	20,46	20,51	20,52	20,50	21,00
TiO ₂	0,15	0,14	0,14	0,19	0,14	0,11	0,10	0,13	0,14
FeO	11,53	11,96	12,03	11,93	12,20	12,09	12,22	11,91	11,98
MnO	28,21	28,87	28,15	28,94	27,58	27,50	28,75	30,10	28,51
MgO	0,71	0,83	0,85	0,90	0,86	0,90	0,90	0,81	0,84
CaO	0,28	0,26	0,27	0,28	0,29	0,31	0,32	0,30	0,29
Na ₂ O	0,01	0,00	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02
Cr ₂ O ₃	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01
Y ₂ O ₃	0,03	0,07	0,04	0,03	0,02	0,14	0,04	0,07	0,06
Total	99,77	99,25	100,22	99,20	97,95	97,84	99,16	100,04	99,18
apfu									
Mn	3,88	4,03	3,87	4,04	3,88	3,88	4,02	4,19	3,98
Fe ²⁺	1,57	1,65	1,63	1,65	1,70	1,68	1,69	1,52	1,64
Mg	0,17	0,20	0,21	0,22	0,21	0,22	0,22	0,20	0,21
Ca	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,05
Na	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01
Y	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Total X	5,68	5,93	5,76	5,97	5,86	5,86	6,00	5,97	5,88
Al ^{VI}	4,22	3,98	4,17	3,99	4,01	4,02	3,99	3,93	4,04
Fe ³⁺								0,12	0,01
Ti	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,24	4,00	4,19	4,01	4,03	4,03	4,00	4,07	4,07
Si	5,91	6,03	5,87	6,00	6,05	6,03	5,99	5,96	5,98
Al ^{IV}	0,09		0,13				0,01	0,04	0,03
Total Z	6,00	6,03	6,00	6,00	6,05	6,03	6,00	6,00	6,01
Total	15,92	15,96	15,95	15,99	15,93	15,93	16,00	16,04	15,96
Esp	68,47	67,99	67,25	67,84	66,45	66,40	67,15	68,96	67,56
Alm	27,62	27,81	28,38	27,62	29,03	28,83	28,19	26,93	28,05
Pir	3,05	3,43	3,57	3,71	3,64	3,81	3,71	3,25	3,52
Gro	0,86	0,77	0,81	0,83	0,87	0,96	0,95	0,86	0,86
Mn/(Mn+Fe)	0,71	0,71	0,70	0,71	0,70	0,70	0,70	0,72	0,71

Composição molecular média: Esp_{67,6}Alm_{28,0}Pir_{3,5}Gro_{0,9}

6.4 – Pegmatito Capoeira 3

CA3-001/13 a 17– Granada da zona I do pegmatito Capoeira 3, com cátions calculados para 24(O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos	13	14	15	16	17	Média
%peso						
SiO ₂	36,12	36,13	36,06	36,29	36,21	36,16
Al ₂ O ₃	20,41	20,75	20,42	20,59	20,31	20,50
TiO ₂	0,02	0,00	0,10	0,05	0,14	0,06
FeO	10,68	10,73	10,65	10,86	10,91	10,77
MnO	29,83	28,98	29,78	29,04	28,74	29,27
MgO	0,90	1,00	0,72	1,05	1,11	0,96
CaO	0,53	0,38	0,53	0,48	0,52	0,49
Na ₂ O	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02	0,01
Cr ₂ O ₃	0,00	0,03	0,01	0,04	0,03	0,02
Y ₂ O ₃	0,11	0,03	0,13	0,07	0,08	0,08
Total	98,60	98,04	98,43	98,47	98,07	98,32
apfu						
Mn	4,19	4,08	4,20	4,07	4,05	4,12
Fe ²⁺	1,48	1,49	1,48	1,50	1,52	1,50
Mg	0,22	0,25	0,18	0,26	0,27	0,24
Ca	0,09	0,07	0,09	0,09	0,09	0,09
Na	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Y	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01
Total X	6,00	5,89	5,97	5,93	5,94	5,96
Al ^{VI}	3,99	4,06	4,00	4,02	3,98	4,01
Fe ³⁺						
Ti	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	3,99	4,06	4,01	4,03	4,00	4,02
Si	6,00	6,00	6,00	6,01	6,02	6,01
Al ^{IV}						
Total Z	6,00	6,00	6,00	6,01	6,02	6,01
Total	15,99	15,95	15,98	15,97	15,97	15,97
Esp	69,99	69,30	70,51	68,76	68,24	69,36
Alm	24,74	25,34	24,90	25,40	25,57	25,19
Pir	3,70	4,22	3,02	4,39	4,63	3,99
Gro	1,57	1,15	1,57	1,45	1,57	1,46
Mn/(Mn+Fe)	0,74	0,73	0,74	0,73	0,73	0,73

Composição molecular média: Esp_{69,4}Alm_{25,2}Pir_{4,0}Gro_{1,5}

CA3-001a/1 a 10– Granada da zona I do pegmatito Capoeira 3, com cátions calculados para 24(O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos %peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Média
SiO ₂	36,86	36,84	36,97	36,56	36,74	36,77	36,89	36,68	36,68	36,73	36,77
Al ₂ O ₃	20,74	20,81	20,79	20,57	20,88	20,67	20,72	20,73	20,60	20,45	20,69
TiO ₂	0,12	0,11	0,11	0,05	0,05	0,10	0,12	0,10	0,05	0,09	0,09
FeO	10,75	11,10	11,33	11,25	11,33	10,87	11,30	11,34	11,07	10,84	11,12
MnO	29,81	29,43	29,46	29,38	29,48	29,71	29,85	29,86	29,63	30,44	29,70
MgO	1,15	1,22	1,30	1,26	1,30	1,12	1,11	1,22	1,19	1,06	1,19
CaO	0,49	0,51	0,52	0,53	0,54	0,50	0,57	0,56	0,51	0,52	0,53
Na ₂ O	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,04	0,03
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,13	0,06	0,09	0,07	0,11	0,07	0,07	0,06	0,09	0,11	0,08
Total	100,08	100,12	100,60	99,70	100,45	99,85	100,65	100,60	99,83	100,28	100,21
apfu											
Mn	4,12	4,06	4,05	4,08	4,06	4,11	4,11	4,12	4,11	4,21	4,10
Fe ²⁺	1,47	1,51	1,54	1,49	1,49	1,49	1,52	1,45	1,52	1,42	1,49
Mg	0,28	0,30	0,31	0,31	0,32	0,27	0,27	0,30	0,29	0,26	0,29
Ca	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09
Na	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
Y	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Total X	5,97	5,98	6,01	5,99	5,98	5,98	6,01	5,98	6,02	6,00	5,99
Al ^{VI}	3,99	4,00	3,98	3,96	3,98	3,98	3,97	3,95	3,97	3,94	3,97
Fe ³⁺				0,05	0,05		0,02	0,09		0,06	0,00
Ti	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,00	4,01	3,99	4,02	4,04	4,00	4,00	4,05	3,98	4,01	3,98
Si	6,01	6,00	6,00	5,99	5,98	6,01	6,00	5,97	6,00	6,00	6,00
Al ^{IV}				0,01	0,02			0,03			0,01
Total Z	6,01	6,00	6,00	6,00	6,00	6,01	6,00	6,00	6,00	6,00	6,01
Total	15,98	15,99	16,00	16,01	16,01	15,99	16,02	16,03	16,00	16,01	16,00
Esp	69,23	68,14	67,58	67,73	67,55	69,00	68,32	68,00	68,45	69,71	68,37
Alm	24,65	25,37	25,67	25,59	25,64	24,93	25,54	25,50	25,24	24,52	25,27
Pir	4,70	4,99	5,23	5,12	5,24	4,59	4,48	4,88	4,83	4,28	4,83
Gro	1,42	1,51	1,52	1,56	1,57	1,47	1,66	1,62	1,48	1,49	1,53
Mn/(Mn+Fe)	0,74	0,73	0,72	0,73	0,72	0,73	0,73	0,73	0,73	0,74	0,73

Composição molecular média: Esp_{68,4}Alm_{25,3}Pir_{4,8}Gro_{1,5}

6.5 – Pegmatito Quintos

QB-001b/1 a 5– Granada da zona I do pegmatito Quintos, com cátions calculados para 24(O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos	1	2	3	4	5	Média
%peso						
SiO ₂	36,18	35,95	37,02	36,15	35,99	36,26
Al ₂ O ₃	22,71	23,49	23,73	20,67	20,66	22,25
TiO ₂	0,13	0,17	0,16	0,11	0,10	0,14
FeO	8,85	6,95	5,75	6,07	6,07	6,74
MnO	31,09	32,54	32,19	36,67	35,35	33,57
MgO	0,82	0,82	0,78	0,81	0,82	0,81
CaO	0,28	0,29	0,29	0,28	0,30	0,29
Na ₂ O	0,04	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,12	0,04	0,01	0,08	0,04	0,06
Total	100,22	100,26	99,95	100,85	99,37	100,13
apfu						
Mn	4,27	4,45	4,37	5,08	4,95	4,62
Fe ²⁺	1,20	0,94	0,77	0,59	0,75	0,85
Mg	0,20	0,20	0,19	0,20	0,20	0,20
Ca	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Na	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Y	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Total X	5,74	5,64	5,38	5,93	5,97	5,74
Al ^{VI}	4,20	4,27	4,41	3,89	3,96	4,15
Fe ³⁺				0,24	0,09	0,07
Ti	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,22	4,29	4,43	4,14	4,06	4,23
Si	5,86	5,80	5,93	5,91	5,94	5,89
Al ^{IV}	0,14	0,20	0,07	0,09	0,06	0,11
Total Z	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Total	15,95	15,93	15,81	16,07	16,03	15,96
Esp	74,68	78,96	81,28	82,53	81,88	79,86
Alm	20,99	16,64	14,33	13,48	13,88	15,86
Pir	3,48	3,50	3,46	3,20	3,35	3,40
Gro	0,86	0,90	0,93	0,79	0,89	0,87
Mn/(Mn+Fe)	0,78	0,83	0,85	0,86	0,86	0,83

Composição molecular média: Esp_{79,9}Alm_{15,9}Pir_{3,4}Gro_{0,9}

QB-003/1 a 6– Granada da parte central do pegmatito Quintos, inclusa em berilo, com cátions calculados para 24(O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropo; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos	1	2	3	4	5	6	Média
%peso							
SiO ₂	35,70	35,93	35,39	36,25	35,85	35,88	35,83
Al ₂ O ₃	19,95	20,08	20,12	19,56	20,01	19,36	19,85
TiO ₂	0,24	0,38	0,15	0,16	0,14	0,13	0,20
FeO	5,16	5,18	5,13	5,53	5,11	5,65	5,29
MnO	36,57	35,69	36,26	36,15	36,01	36,36	36,17
MgO	1,34	1,43	1,48	1,53	1,51	1,32	1,43
CaO	0,55	0,56	0,52	0,53	0,53	0,51	0,53
Na ₂ O	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,01
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,02	0,04	0,05	0,01	0,03	0,01	0,03
Total	99,54	99,29	99,11	99,74	99,20	99,23	99,35
apfu							
Mn	5,13	4,99	5,10	5,05	5,05	5,12	5,08
Fe ²⁺	0,39	0,53	0,33	0,47	0,43	0,44	0,43
Mg	0,33	0,35	0,37	0,38	0,37	0,33	0,35
Ca	0,10	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09
Na	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total X	5,95	5,98	5,90	6,00	5,96	5,99	5,95
Al ^{VI}	3,80	3,85	3,82	3,79	3,85	3,77	3,81
Fe ³⁺	0,33	0,19	0,38	0,30	0,28	0,35	0,31
Ti	0,03	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,16	4,09	4,22	4,11	4,15	4,14	4,14
Si	5,91	5,94	5,88	5,98	5,94	5,97	5,94
Al ^{IV}	0,09	0,06	0,12	0,02	0,06	0,03	0,06
Total Z	6,00						
Total	16,11	16,07	16,12	16,11	16,10	16,12	16,09
Esp	81,78	81,08	81,34	80,40	81,12	80,95	81,11
Alm	11,39	11,63	11,35	12,14	11,37	12,43	11,72
Pir	5,27	5,70	5,84	5,97	5,99	5,18	5,66
Gro	1,56	1,60	1,48	1,49	1,52	1,44	1,51
Mn/(Mn+Fe)	0,88	0,87	0,88	0,87	0,88	0,87	0,87

Composição molecular média: Esp_{81,1}Alm_{11,7}Pir_{5,7}Gro_{1,5}

QB-025/1 a 9– Granada da parte central do pegmatito Quintos, associada a albita, com cátions calculados para 24(O), conforme Deer *et al.* (1981) e concentrações de Fe²⁺ e Fe³⁺ estimados pelo método de Droop (1987). Esp = espessartita; Alm = almandina; Pir = piropro; Gro = grossulária (Análises: microsonda eletrônica, Instituto de Geociências, USP)

Óxidos %peso	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
SiO ₂	36,81	36,69	36,96	36,75	36,66	36,99	36,78	36,99	36,58	36,80
Al ₂ O ₃	20,87	20,90	20,81	20,76	20,67	20,79	20,68	20,76	20,73	20,77
TiO ₂	0,14	0,13	0,14	0,14	0,15	0,13	0,15	0,12	0,20	0,14
FeO	3,80	3,85	3,70	3,66	3,82	3,78	3,76	3,58	3,63	3,73
MnO	38,24	37,78	38,27	38,10	37,50	37,74	38,22	38,34	38,33	38,06
MgO	0,70	0,65	0,67	0,67	0,66	0,68	0,69	0,70	0,67	0,68
CaO	0,35	0,35	0,33	0,34	0,35	0,31	0,33	0,32	0,35	0,34
Na ₂ O	0,03	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02
Cr ₂ O ₃	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Y ₂ O ₃	0,06	0,00	0,00	0,00	0,06	0,03	0,05	0,00	0,00	0,02
Total	100,99	100,36	100,93	100,43	99,88	100,46	100,66	100,81	100,52	100,56
apfu										
Mn	5,26	5,22	5,26	5,26	5,21	5,20	5,27	5,28	5,30	5,25
Fe ²⁺	0,49	0,53	0,50	0,50	0,52	0,51	0,51	0,49	0,47	0,50
Mg	0,17	0,16	0,16	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16
Ca	0,06	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06	0,06
Na	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Y	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total X	5,99	5,97	5,99	5,99	5,96	5,94	6,02	5,99	6,00	5,97
Al ^{VI}	3,97	4,01	3,98	3,98	3,99	3,99	3,96	3,98	3,96	3,98
Fe ³⁺	0,03								0,03	0,01
Ti	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
Cr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Total Y	4,02	4,03	4,00	4,00	4,01	4,01	3,98	3,99	4,01	4,01
Si	5,98	5,99	6,00	5,99	6,01	6,02	5,99	6,01	5,97	6,00
Al ^{IV}	0,02	0,01		0,01			0,01		0,03	0,01
Total Z	6,00	6,00	6,00	6,00	6,01	6,02	6,00	6,01	6,00	6,01
Total	16,01	15,99	15,99	15,99	15,98	15,97	16,00	15,99	16,02	15,99
Esp	87,56	87,54	87,94	87,94	87,46	87,65	87,74	88,12	88,02	87,77
Alm	8,60	8,81	8,40	8,33	8,80	8,67	8,51	8,11	8,24	8,50
Pir	2,82	2,64	2,71	2,73	2,70	2,78	2,79	2,83	2,72	2,75
Gro	1,03	1,01	0,94	1,00	1,04	0,90	0,95	0,93	1,01	0,98
Mn/(Mn+Fe)	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	0,92	0,91	0,91

Composição molecular média: Esp_{87,8}Alm_{8,5}Pir_{2,8}Gro_{0,9}

Anexo VII – Espectros MEV

