

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
DEPARTAMENTO DE MINERALOGIA E PETROLOGIA**

CARINA MACHADO PALUDO

**CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS DE ETR E Y NOS PEGMATITOS DO
ALBITA GRANITO MADEIRA (PITINGA, AM)**

Porto Alegre

2015

CARINA MACHADO PALUDO

**CARACTERIZAÇÃO DOS MINERAIS DE ETR E Y NOS PEGMATITOS DO
ALBITA GRANITO MADEIRA (PITINGA, AM)**

Trabalho de Conclusão do Curso de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Apresentado na forma de monografia, junto à disciplina Projeto Temático em Geologia III, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

ORIENTADOR:

Prof. Dr. Vitor Paulo Pereira

CO-ORIENTADOR:

Prof. Dr. Artur Cezar Bastos Neto

SUPERVISOR:

Prof. Dr. Egydio Menegotto

Porto Alegre

2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Carlos Alexandre Netto

Vice-Reitor: Rui Vicente Oppermann

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

Diretor: André Sampaio Mexias

Vice-Diretor: Nelson Luiz Sambaqui Gruber

Catálogo na Publicação

Biblioteca Instituto de Geociências - UFRGS

Veleida Ana Blank CRB 10/571

Paludo, Carina Machado

Caracterização dos minerais de ETR e Y nos pegmatitos do albita

granito Madeira (Pitinga, AM) . / Carina Machado Paludo. - Porto

Alegre: IGEO/UFRGS, 2015.

[74 f.] il.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso).- Universidade

Federal do Rio Grande do Sul. Graduação em Geologia. Instituto de

Geociências. Porto Alegre, RS - BR, 2015.

Orientador(es):Vitor Paulo Pereira

Coorientador(es):Artur cesar bastos neto

1. Pegmatitos 2. Mina Pitinga 3. Elementos Terras Raras 4. Gagarinita I. Título.

Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Campus do Vale Av. Bento Gonçalves, 9500 - Porto Alegre - RS - Brasil

CEP: 91501-970 / Caixa Postal: 15001.

Fone: +55 51 3308-6329 Fax: +55 51 3308-6337

E-mail: bibgeo@ufrgs.br

CDU 55

*Dedico esta monografia aos meus
amados pais.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço esta, bem como todas às minhas demais conquistas, aos meus queridos pais Antonio e Lizete, pela capacidade de acreditarem e investirem em mim.

Agradeço às minhas irmãs Sabrina e Josiane por todo carinho, conselhos e cumplicidade de uma vida inteira; e aos meus dois preciosos sobrinhos João e Pietro, meus melhores e maiores presentes.

Agradeço pelo destino ter colocado o Professor Vitor Paulo Pereira em meu caminho, pois mais que um orientador, foi um amigo. Vitor, obrigada por toda paciência e dedicação em formar não apenas uma Geóloga, mas uma profissional e uma pessoa com uma diferente visão do mundo.

Ao querido Egdio, por toda calma, preocupação e ensinamentos.

Obrigada ao Professor Artur pela oportunidade que me foi dada, me tornando parte deste grande projeto, e também pela possibilidade de continuar meus estudos no mestrado.

Ao CNPq, por ter possibilitado e financiado esta pesquisa.

Obrigada às colegas de laboratório Cris e Denise, pela companhia e por compartilhar não apenas momentos de dúvidas e inseguranças, mas também de descobertas e acertos.

Aos amigos e colegas Tatiele, Thamys, Luís Felipe, Gomes, Elis e Pâmela; por todos os perrengues, alegrias, conselhos, tristezas e abraços. Vocês são as pessoas com quem convivi ao longo desses anos no curso e mostraram-me defeitos e qualidades e com isso acabaram me tornando uma pessoa melhor.

RESUMO

O granito Madeira é o principal corpo mineralizado do distrito de Pitinga (AM) e pertencente à suíte Madeira ($\cong 1,83\text{Ga}$) juntamente com os granitos Água Boa e Europa. Estes granitos estão localizados ao sul do Escudo das Guianas, no Cráton Amazônico, e intrudem rochas vulcânicas paleoproterozóicas do Grupo Iricoumé ($\cong 1,88\text{Ga}$). O granito Madeira é enriquecido em Sn (cassiterita) e possui como coprodutos Nb, Ta e criolita (Na_3AlF_6), constituindo uma jazida de classe mundial. Neste depósito também foram identificadas concentrações de Zr, Elementos Terras Raras, Y, Li e U, com possível potencial econômico. Este granito é composto por quatro fácies, sendo a mais precoce classificada como anfibólio biotita sienogranito porfirítico, que é sucedida pela fácies biotita-feldspato alcalino granito. As fácies feldspato alcalino granito *hipersolvus* e albita granito são mais tardias. Esta última é dividida nas subfácies albita granito de núcleo e albita granito de borda, que possuem os corpos pegmatíticos em estudo. Esses pegmatitos são formados na fase final de cristalização do albita granito, têm formas irregulares e possuem dimensões com poucos metros e suas distribuições ainda são pouco conhecidas. Para o estudo da composição química das amostras destes pegmatitos foram realizadas análises por ICP. A identificação mineral, utilizando principalmente análises por microscopia óptica, difração de raios X e análises por EDS ao MEV, possibilitaram identificar os seguintes minerais: criolita, polilitionita, xenotima (YPO_4), gagarinita ($\text{NaCaY}(\text{F,Cl})_6$), albita, quartzo, microclínio, torita, esfalerita, galena, zircão, genthelvita e hematita. A xenotima e a gagarinita foram estudadas em detalhe, incluindo análises por microsonda eletrônica, por conterem grande quantidade de ETR, especialmente dos pesados. Devido a isto, os pegmatitos têm imenso potencial para constituírem uma jazida destes elementos.

Palavras-Chave: Pegmatitos, mina Pitinga, Elementos Terras Raras, Gagarinita, Xenotima

ABSTRACT

Madeira granite is the main mineralized body of the Pitinga district (AM) and belongs to the Madeira suite ($\cong 1,83\text{Ga}$). It intrudes Paleoproterozoic volcanic rocks Iricoumé Group ($\cong 1,88\text{Ga}$) together Água Boa and Europa granites. These granites are located south of the Guiana shield, in the Amazonian Craton. Madeira granite is enriched in Sn (tin) and has co-products such as Nb, Ta and cryolite (Na_3AlF_6), constituting a world-class deposit. It also concentrates Zr, Rare Earth Elements, Y, Li and U, who are potential ores.

The Madeira granite has four facies, the earliest being classified as amphibole biotite porphyry syenogranite, which is followed by biotite-feldspar alkali granite facies. The alkali feldspar granite *hypersolvus* and albite granite facies are the last to crystallize. The albite granite was divided into core albite granite and border albite granite sub-facies that have pegmatites. These pegmatites are formed in the final stage of crystallization of albite granite crystallization have irregular shapes, and dimensions with a few meters. Their distributions along the granitic body are still little known. To study the chemical composition of these pegmatite samples ICP analyzes were performed. The mineral identification, using mostly analyzes by optical microscopy, X-ray diffraction and analysis by EDS with SEM, made possible to identify the following minerals: cryolite, polilitionite, xenotime (YPO_4), gagarinite ($\text{NaCaY}(\text{F},\text{Cl})_6$), albite, quartz, microcline, thorite, sphalerite, galena, zircon, hematite and genthelvite. The xenotime and gagarinite were studied in detail, including analyzes by electron microprobe and determination of their crystallographic parameters, because they contain large amounts of REE, especially the heaviest. Because of this, the pegmatites have immense potential to constitute a reservoir of these elements.

Keywords: Pegmatites, Pitinga mine, rare-earth elements, gagarinite, xenotime

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Mapa de localização da área de Pitinga.....	14
Figura 2 Mapa de localização da região de Pitinga.....	16
Figura 3 Mapa geológico da região de Pitinga.	17
Figura 4 Mapa geológico das fácies do granito Madeira.	18
Figura 5 Mapa de localização dos pegmatitos no albite granito Madeira.	30
Figura 6 Fotografias de amostras de pegmatitos.	35
Figura 7 Fotografias de amostras com xenotima.	38
Figura 8 Fotografias de amostras com gagarinita.	39
Figura 9 Fotomicrografias com xenotima.	40
Figura 10 Fotomicrografias com gagarinita	40
Figura 11 Difratoograma de raios X da xenotima.	41
Figura 12 Difratoograma de raios X da gagarinita.....	41
Figura 13 Fotomicrografia de xenotima e gagarinita ao MEV	42
Figura 14 Pontos analisados por microsonda eletrônica em um grão de xenotima	43
Figura 15 Padrões de distribuição dos ETR de xenotima.	45
Figura 16 Pontos analisados por microsonda eletrônica em um grão de gagarinita	46
Figura 17 Padrões de distribuição dos ETR de gagarinita.	48
Figura 18 Comparação entre os conteúdos de ETR de cristais de gagarinita	49
Figura 19 Gráfico dos Elementos Terras raras dos pegmatitos.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Resultados dos cálculos da fórmula mineral da xenotima da amostra 4.	44
Tabela 2 Resultados dos cálculos da fórmula mineral da gagarinita das amostra 3 e 4.	46
Tabela 3 Resultados das análises por ICP de amostras dos pegmatitos do albita granito Madeira	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação de pegmatitos, segundo Rudenko et al. (1975).	29
Quadro 2 Descrições macroscópicas das amostras dos pegmatitos do albita granito Madeira.	36

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGB = Albita Granito De Borda

AGN = Albita Granito De Núcleo

CRIO = Criolita

ETR= Elementos Terras Raras

REE= Rare Earth Elements

ETRL= Elementos Terras Raras Leves

ETRP= Elementos Terras Raras Pesados

ETRT= Elementos Terras Raras Totais

Ga= Giga-Ano

Gag= Gagarinita

Km= Quilômetro

kV= Quilovolt

MEV= Microscopia Eletrônica de Varredura

nA= Nano Ampère

POL= Polilitionita

XEN= Xenotima

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 OBJETIVOS	12
3 JUSTIFICATIVAS.....	13
4 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO	13
5 GEOLOGIA REGIONAL.....	14
6 GEOLOGIA LOCAL E MINERALIZAÇÃO	17
7 METODOLOGIA.....	21
8 OS ELEMENTOS TERRAS RARAS	23
8.1 GENERALIDADES	23
8.2 OS ETR DO AGN	25
9 OS PEGMATITOS	26
9.1 GENERALIDADES	26
9.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PEGMATITOS	27
9.3 PEGMATITOS DO ALBITA GRANITO MADEIRA	30
10 A XENOTIMA	31
10.1 GENERALIDADES	31
10.2 A XENOTIMA DO ALBITA GRANITO MADEIRA	32
11 A GAGARINITA	32
11.1 GENERALIDADES	32
11.2 A GAGARINITA DO ALBITA GRANITO MADEIRA.....	33
12 RESULTADOS	34
12.1 ANÁLISES MACROSCÓPICAS.....	34
12.2 ANÁLISES MACROSCÓPICAS DA XENOTIMA E DA GAGARINITA.....	38

12.3 ANÁLISES DOS PEGMATITOS POR MICROSCOPIA ÓPTICA	39
12.4 ANÁLISES POR MICROSCOPIA ÓPTICA DA XENOTIMA E DA GAGARINITA	39
12.5 ANÁLISES DA XENOTIMA E DA GAGARINITA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X.....	40
12.6 ANÁLISES DA XENOTIMA E DA GAGARINITA POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	42
12.7 ANÁLISES DA XENOTIMA E DA GAGARINITA POR MICROSSONDA ELETRÔNICA.	43
12.8 ANÁLISES DOS PEGMATITOS POR “INDUCTIVELY COUPLED PLASMA” (ICP)..	50
13 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES	55
REFERÊNCIAS	59
ANEXOS	66

1 INTRODUÇÃO

A área de Pitinga situa-se no Cráton Amazônico, na porção norte da Plataforma Sul-Americana. Nesta área existem rochas vulcânicas do Grupo Iricoumé ($\cong 1,88$ Ga), que foram intrudidas por oito corpos graníticos. Segundo Ferron *et al.* (2008), existem duas gerações de granitos, sendo a mais antiga constituída pelos corpos Alto Pitinga, Bom Futuro Norte, Bom Futuro sul, Rastro e Simão e a mais jovem pelos granitos Água Boa, Europa e Madeira, tendo todos idades de $\cong 1,83$ Ga.

O granito Madeira é o corpo mais estudado, por possuir importantes mineralizações em Sn (cassiterita), Nb, Ta e criolita (Na_3AlF_6), além de altas concentrações de Zr, ETR, Y, Li e U, com possível potencial econômico. Os estudos realizados por Costi (2000) possibilitaram dividir este granito em quatro fácies, sendo a mais precoce classificada como anfibólio biotita sienogranito porfirítico, que é sucedida pela fácies biotita-feldspato alcalino granito. As fácies feldspato alcalino granito *hipersolvus* e albita granito são mais tardias e se localizam na porção central do corpo. Esta última é dividida nas subfácies albita granito de núcleo (AGN) e albita granito de borda (AGB).

O albita granito contém um grande número de corpos pegmatíticos com dimensões métricas, que são portadores de altos teores de ETR. Estes elementos estão concentrados principalmente na gagarinita $\text{Na}(\text{Ca},\text{Y})\text{F}_6$ e na xenotima (YPO_4).

Devido à grande importância e demanda destes elementos em diversas áreas das atividades humanas, como, por exemplo, na geologia, agricultura, química e metalurgia, o estudo das rochas portadoras de ETR é estratégico para o desenvolvimento nacional. Além disso, a gagarinita e a xenotima do albita granito Madeira são minerais que concentram elementos terras raras pesados (ETRP), que são muito mais valiosos no mercado do que os elementos terras raras leves (ETRL).

2 OBJETIVOS

Neste trabalho, o objetivo principal é identificar os minerais existentes nas paragêneses dos pegmatitos e caracterizar as principais propriedades da gagarinita

e da xenotima, a fim de verificar se existe heterogeneidade entre as amostras dos pegmatitos em estudo.

Os objetivos específicos são:

- Identificar a ordem de cristalização das paragêneses existentes nos pegmatitos;
- Comparar os teores de ETR de diferentes amostras de pegmatitos;
- Determinar as propriedades ópticas da gagarinita e da xenotima que possibilitem suas identificações em amostras macro e microscópicas;
- Determinar os parâmetros cristalográficos de alguns cristais de gagarinita e xenotima.
- Determinar a composição química dos elementos maiores, menores e traço da gagarinita e da xenotima;
- Verificar os padrões de distribuição dos ETR na gagarinita e na xenotima;

3 JUSTIFICATIVAS

As altas concentrações de ETR nos pegmatitos do albita granito Madeira e a importância atual destes elementos em várias áreas das atividades humanas fazem o estudo destas rochas ser de grande importância para o desenvolvimento nacional, especialmente pelo fato de poder vir a constituir a primeira jazida de minério de ETR do Brasil. O estudo destes pegmatitos, que são portadores de minerais incomuns e raros, fornece subsídios para entendimento dos processos geoquímicos envolvidos na gênese destes corpos e do granito. O estudo cristalóquímico da gagarinita e da xenotima possibilita obter importantes informações, que auxiliam nos processos de beneficiamento destes minerais de minério.

4 LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO

O Distrito mineiro de Pitinga localiza-se na porção norte do estado do Amazonas, no município de Presidente Figueiredo (Fig.1). A mina está a cerca de

325 km ao norte de Manaus, próxima à divisa com o estado de Roraima. A área situa-se entre as coordenadas geográficas 0°30' S a 0°51' S e 60°15' W a 59°47' W.

O acesso rodoviário é feito pela BR 174 (rodovia Manaus - Boa Vista) até o km 264, onde, a partir deste ponto, a leste, o caminho segue por uma estrada secundária não pavimentada por cerca de 70 km até chegar à mina. Observa-se que em Pitinga existe uma pista de pouso para aviões de pequeno a médio porte.

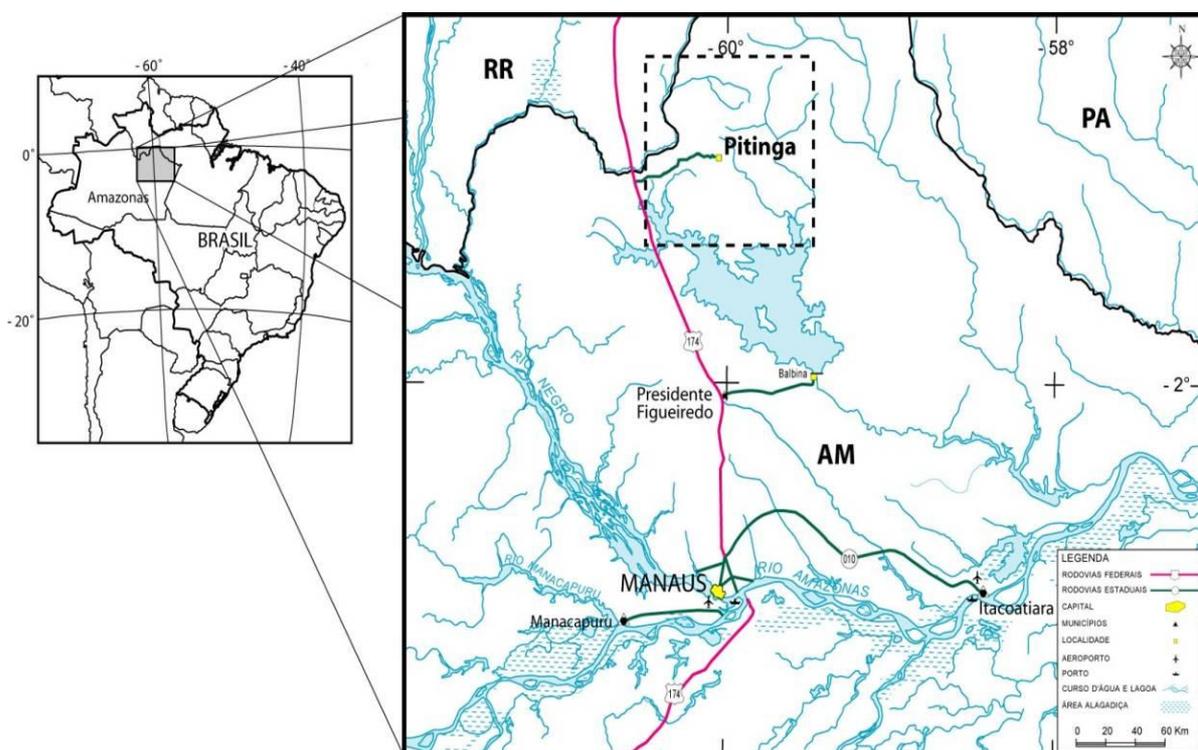


Figura 1 Mapa de localização da área de Pitinga (Ferron, 2008).

5 GEOLOGIA REGIONAL

A região da mina Pitinga está localizada no Cráton Amazônico (Fig. 2), na porção sul do Escudo das Guianas, e está inserida na Província Ventuari-Tapajós (1,95-1,80 Ga), de acordo com a classificação geocronológica de Tassinari & Macambira (1999). Segundo o modelo mais recente de Santos *et al.* (2000), a área encontra-se no limite da Província Parima-Tapajós (2,10- 1,87 Ga) com a borda

oeste da Província Amazônia Central (1,88-1,70 Ga). A região abrange uma área formada predominantemente por rochas vulcânicas e granitos intrusivos anorogênicos.

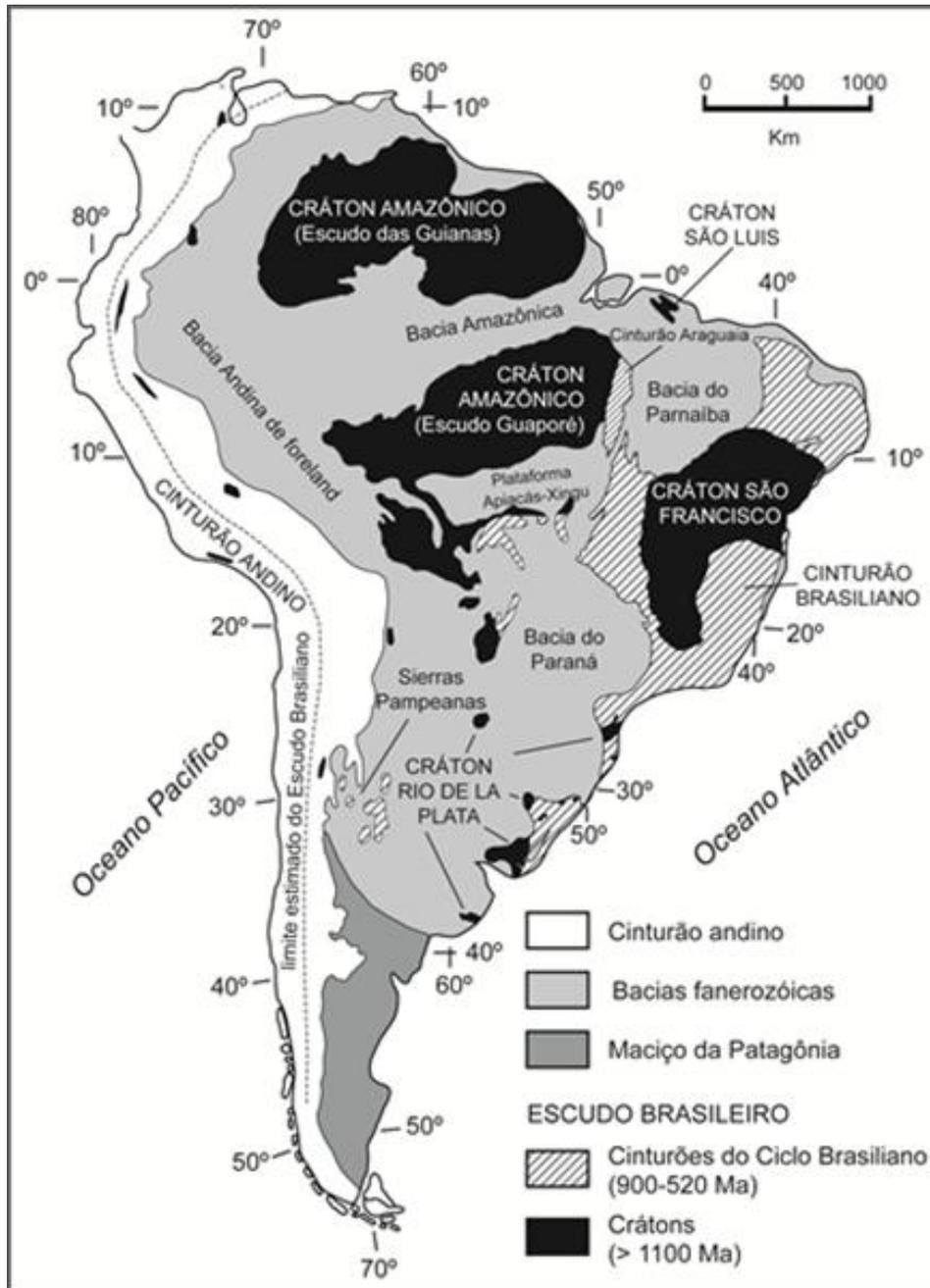


Figura 2 Mapa de localização da região de Pitinga no Escudo das Guianas, Crátón do Amazonas (Hartmann e Delgado, 2001).

O Granito Madeira possui aproximadamente 1,83 Ga e faz parte da Suíte Madeira, juntamente com os Granitos Água Boa e Europa (Ferron, 2006). Este granito intrude as rochas vulcânicas paleoproterozóicas do Grupo Iricoumé, com cerca de 1,88 Ga (Fig.3).

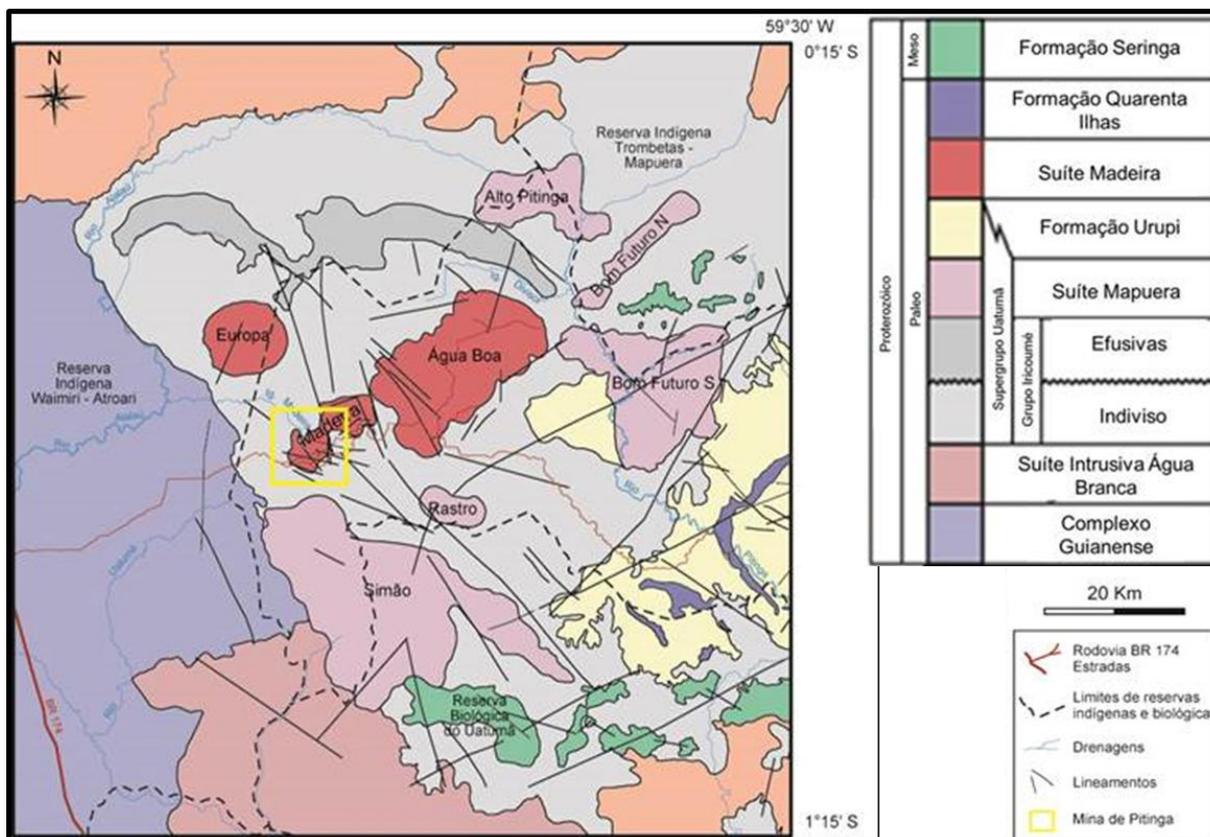


Figura 3 Mapa geológico da região de Pitinga (Modificado de Bastos Neto *et.al.* 2003).

6 GEOLOGIA LOCAL E MINERALIZAÇÃO

O granito Madeira é o principal corpo mineralizado no distrito mineiro de Pitinga e tem uma superfície de aproximadamente 60 km². Costi (2000) subdividiu este granito em quatro fácies (Fig.4).

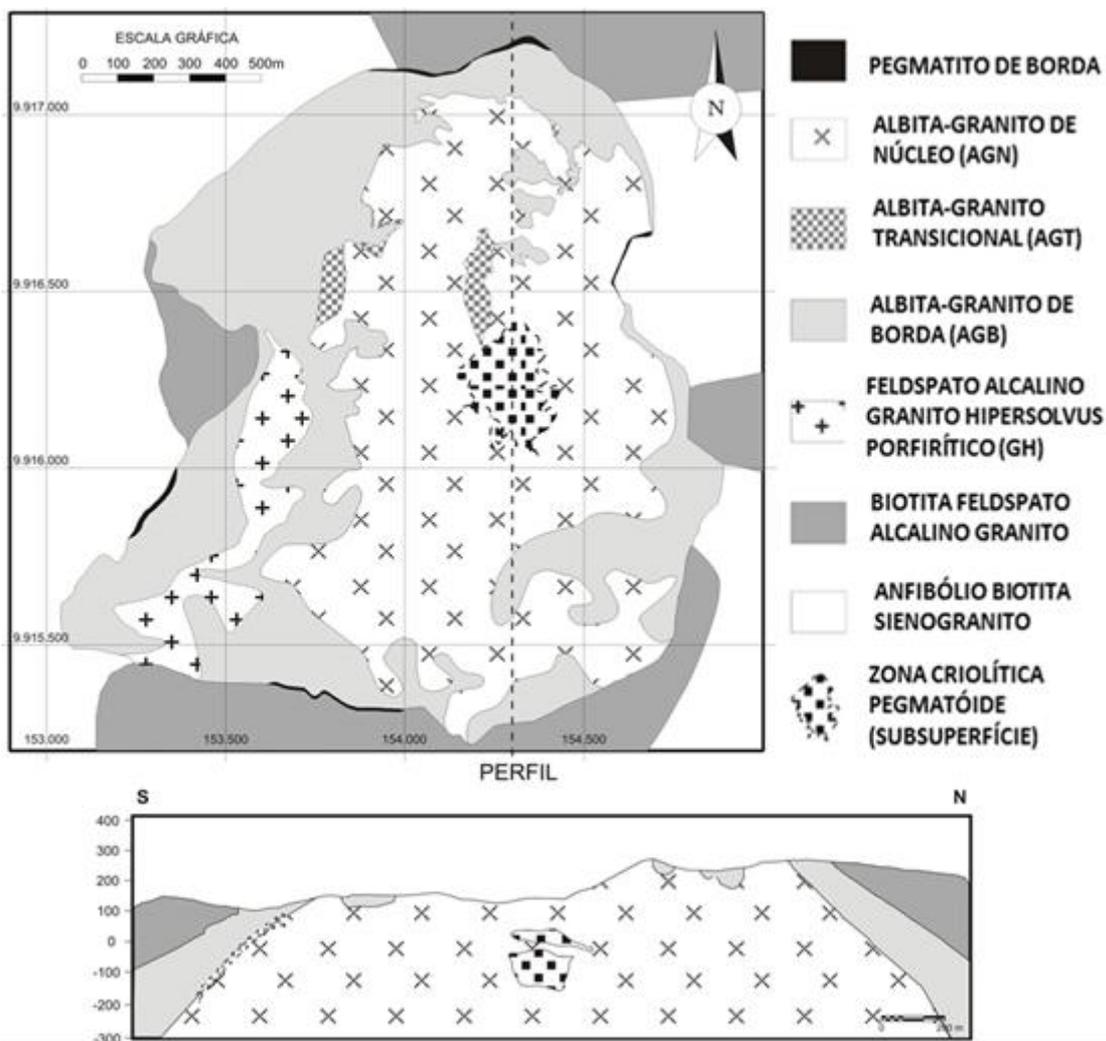


Figura 4 Mapa geológico das fácies do granito Madeira e respectivo perfil N-S. (Modificado de Minuzzi *et al.*, 2005).

A fácies anfibólio-biotita sienogranito é a mais precoce, e possui em suas bordas xenólitos de rochas do grupo Iricoumé. Sua textura é equigranular a porfirítica, com intercrescimentos micrográficos na matriz dos tipos porfiríticos, assim como intercrescimentos simplectíticos entre biotita e anfibólio, sugerindo cristalização em nível crustal raso. Esta fácies é metaluminosa, constituída por feldspato alcalino perítico, quartzo e plagioclásio, tendo como varietais biotita e hornblenda e como acessórios: zircão, fluorita e minerais opacos.

A fácies biotita-feldspato alcalino granito é posterior, peraluminosa, possui textura equigranular, localmente porfirítica, constituída por feldspato alcalino perítico, quartzo e pouco plagioclásio. A biotita é o único varietal presente, enquanto a fluorita, o zircão, os minerais opacos e o topázio são fases acessórias;

A fácies feldspato alcalino granito *hipersolvus* porfirítico, onde os fenocristais são de feldspato potássico. A matriz, com granulação fina a média, é constituída essencialmente por feldspato potássico e quartzo. A albita ocorre na forma de perita em feldspato potássico ou intergranular tardia. A biotita, a fluorita, o zircão e os minerais opacos ocorrem em proporções acessórias. Nesta fácies são frequentes as modificações texturais e mineralógicas, que foram causadas por processos metassomáticos de albitização e episienitização;

A fácies albita granito; contemporânea com a fácies granito *hipersolvus* tem área alongada na direção N-S. Esta fácies é intrusiva nas anteriores e foi dividida nas subfácies albita granito de núcleo (AGN) e albita granito de borda (AGB). O AGN, portador dos pegmatitos em estudo, é um granito *subsolvus*, com textura porfirítica a seriada, granulação fina a média e coloração acinzentada. Esta subfácies é constituída essencialmente por quartzo, albita, feldspato potássico e, subordinadamente, pirocloro/columbita, xenotima, gagarinita, galena, esfalerita, criolita, zircão, polilitionita, riebeckita, pirocloro, anita, cassiterita, magnetita, hematita, fluorita e outros minerais mais raros. O AGN transiciona para o AGB, que é uma rocha avermelhada, peraluminosa e ocorre ao longo dos contatos do albita granito com a fácies biotita-feldspato alcalino granito. Esta subfácies é formada essencialmente por quartzo, feldspato potássico e albita e tem, em menor quantidade, pirocloro/columbita, fluorita, zircão, clorita, cassiterita, hematita e outros. O AGB é interpretado como tendo sido originado pelo autometassomatismo do AGN, que teve sua mineralogia peralcalina modificada por ação de fluidos residuais.

Costi *et al.* (2000) determinaram pelo método $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircão as idades das fácies do granito Madeira e obtiveram os seguintes resultados: fácies anfibólio-biotita sienogranito (1.824 ± 2 Ma); fácies biotita-feldspato alcalino granito (1.822 ± 2 Ma), e fácies feldspato alcalino granito hipersolvus (1.818 ± 2 Ma). Fuck *et al.* (1993) e Lenharo (1998) dataram, respectivamente, a fácies albita granito em 1.834 ± 6 Ma (U-Pb em zircão) e 1.794 ± 19 Ma ($^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ em zircão por SHRIMP).

A mineralização no granito Madeira é restrita à fácies albita granito. O minério de Sn (cassiterita) ocorre disseminado nas subfácies AGN e AGB. Nestas também existe minério de Nb e Ta, porém o AGN é mais rico em pirocloro e o AGB em columbita. O AGN é mineralizado em criolita, que ocorre em duas formas distintas: disseminada e maciça, formando os corpos que constituem o depósito criolítico maciço (DCM), que pode ser visto na figura 4.

A gênese da mineralização de criolita foi abordada em alguns dos esquemas evolutivos propostos para o albita granito. O primeiro modelo genético proposto foi o metassomático (Horbe *et al.* 1985 e Teixeira *et al.* 1992), que considera o albita granito como apogranito e, à formação deste, é associada à mineralização de criolita. Para estes autores, a presença de criolita como fase portadora de F em lugar do topázio sugere origem metassomática. O modelo considera que o teor elevado de F teria rebaixado o limite do *solidus* do sistema, com a cristalização ocorrendo no intervalo dos estágios pneumatolítico (núcleo) e hidrotermal (borda). O modelo metassomático não foi confirmado pelos estudos petrológicos detalhados de Lenharo (1998) e Costi (2000), que propuseram origem magmática, mas enquadraram a mineralização de criolita em diferentes formas. Para Lenharo (op. cit.), o DCM formou-se a partir de líquido residual extremamente rico em flúor, que se tornou imiscível na fusão silicática. Para Costi (op. cit.), o aumento do teor de H_2O com o avanço da cristalização do albita granito levou à separação de fluidos aquosos, responsáveis pela formação das rochas dos níveis pegmatóides no interior do AGN, enquanto que a fase residual rica em F geraria os corpos de criolita maciça do DCM.

Segundo Bastos Neto *et al.* (2009), não existem evidências que confirmem metassomatismo, ou uma origem magmática, ou mesmo imiscibilidade de líquidos na formação do AGN. A mineralização em criolita e os pegmatitos associados devem estar associados a processos hidrotermais com a contribuição de água meteórica, conforme verificado em análises de inclusões fluidas.

Neste contexto, com o albita granito enriquecido em flúor se formaram os pegmatitos portadores gagarinita e de xenotima, que estão distribuídos principalmente no entorno dos bolsões criolíticos. Portanto, para o estudo da concentração e distribuição dos ETR, tem-se que considerar a atividade do flúor nas diferentes porções do AGN.

7 METODOLOGIA

Para a presente pesquisa, foi aproveitado o material coletado em campanha de campo realizada anteriormente pelo professor orientador, juntamente com o coordenador do projeto, totalizando mais de 21 amostras de pegmatitos. Após as atividades de campo, foi realizada uma análise detalhada destas amostras em lupa binocular para posterior cominuição. As amostras de pó foram utilizadas para análises químicas por ICP-MS e por difração de raios X. Considerando que nos pegmatitos ocorrem grãos centimétricos de vários minerais, foi realizada a moagem de grandes quantidades de amostra, que foram homogeneizadas a fim de possibilitar o registro das principais fases minerais presentes. A fim de realizar estudos mineralógicos de detalhe, foram separados minerais, que também foram cominuídos e analisados por DRX. Dentre estes, foi dada ênfase a xenotima e a gagarinita, por serem os principais portadores de ETR, porém também foram analisadas micas (polilitionita e anita) e criolita. As análises por microscopia óptica (luz transmitida e refletida) permitiram a identificação e caracterização dos minerais e também possibilitaram selecionar àquelas a serem analisadas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Estas análises ao MEV permitiram escolher os cristais de gagarinita e xenotima a serem analisados por microsonda eletrônica. Também foram utilizados os programas Excel, Minfile e LCLSQ8.5

Os dados analíticos das diferentes técnicas utilizadas são apresentados a seguir.

Microscopia óptica: Realizada em um microscópio marca Leica, modelo DMLP, do Instituto de Geociências da UFRGS, que possibilitou análises em luz natural, polarizada e transmitida com aumentos entre 25x e 500x.

Difração de raios X: As amostras de pó foram analisadas em um difratômetro marca Siemens, modelo D5000, do Instituto de Geociências desta Universidade. As análises foram realizadas entre 2 e 70^o2 θ , com passo de 0,02^o2 θ /s.

Microscopia Eletrônica de Varredura: As análises foram realizadas em um microscópio de marca JEOL, modelo 5800, pertencente ao Centro de Microscopia eletrônica (CME) da UFRGS. Para isto, foi utilizada a energia de 15kV e corrente de 25nA em amostras metalizadas com carbono. Também foram realizados mapas de elementos e perfis analíticos a fim de estudar as diferenças de composição nos grãos de gagarinita e xenotima.

Microsonda Eletrônica: As análises foram realizadas em uma microsonda de marca JEOL, modelo SX50, com cinco espectrômetros WDS, que pertence ao Laboratório de Microsonda Eletrônica do Departamento de Geologia da Universidade de Brasília – UnB. As condições de análise e os padrões utilizados foram: intensidade da corrente de 20kV, *spot size* de 1 μ m, com tempo de leitura de utilizando como padrões:

Elemento	Raio x	Cristal	Padrão
F	K α	LDE1	Topaz
Na	K α	TAP	albita_gaspox
Al	K α	TAP	microclinio
Si	K α	TAP	microclinio
P	K α	PETJ	Apatita_gaspox
Ti	K α	LIF	MnTiO3
Y	L α	PETJ	YFe2O12
Ca	K β	LIFH	Apatita_gaspox
Fe	K α	LIFH	Andradite_gaspox
Ho	L β	LIF	REE-4
Er	L α	LIF	REE-4
Tm	L α	LIF	REE-1
Yb	L α	LIF	REE-2
Lu	L α	LIF	REE-2
Pb	M β	PETJ	Vanadinite
Sm	L β	LIF	REE-2
Eu	L α	LIF	REE-1
Gd	L α	LIF	REE-1
Tb	L α	LIF	REE-1
Dy	L β	LIF	REE-4
Th	M α	PETJ	ThO2
La	L α	LIFH	REE-3
Ce	L α	LIFH	CeO2
Pr	L β	LIFH	REE-3
Nd	L α	LIFH	REE-2

Análises químicas de rocha total (ICP): As análises geoquímicas de rocha total para elementos maiores, menores e traço, incluindo os ETR foram realizadas no *Activation Laboratories Ltda* (ACTLABS, Canadá). As técnicas analíticas empregadas foram: *Inductively Coupled Plasma* (ICP), tipo *Atomic Emission Spectrometry* (AES), para a determinação de elementos maiores; e *Mass Spectrometry* (MS) para os elementos menores e traço, incluindo os elementos terras raras, ambos por fusão. A perda ao fogo (PF ou LOI) também foi determinada no ACTLABS e o F por eletrodo seletivo.

8 OS ELEMENTOS TERRAS RARAS

8.1 GENERALIDADES

Os ETR consistem de 15 elementos químicos conhecidos como lantanídeos, que quimicamente são similares ao ítrio e ao escândio. São elementos litófilos (elementos enriquecidos na crosta terrestre), que ocorrem invariavelmente juntos nos sistemas naturais. Nos minerais formadores de rochas eles possuem raio iônico muito similar e tipicamente ocorrem como cátions trivalentes em carbonatos, óxidos, fosfatos e silicatos, porém o európio também ocorre com a valência +2 e o cério como +4.

As interpretações no comportamento geoquímico dos ETR são baseadas principalmente nos valores de raios iônicos, que decrescem gradualmente com o aumento do número atômico, devido ao acréscimo de carga no núcleo, causando contração dos subníveis eletrônicos, em especial 5s e 5p. Esse fenômeno é denominado "contração dos lantanídeos". Devido a isso, esses elementos têm comportamento geoquímico diferente e são, por isso, divididos em elementos terras raras leves (ETRL) e elementos terras raras pesadas (ETRP). Os ETRL são mais abundantes e são aqueles do La ao Eu (com Z de 57 a 64) e os ETRP são aqueles do Gd ao Lu (com Z de 64 a 71). Devido ao raio iônico e ao comportamento geoquímico o Y e o Sc também podem ser considerados como ETRP. Observa-se que alguns autores consideram ainda os ETR com números atômicos intermediários como sendo os elementos terras raras médios (ETRM), que são aqueles do Nd ao

Gd (com Z de 60 a 64), porém, devido à imprecisão na definição, são cada vez menos utilizados.

Do ponto de vista químico, os ETR são caracterizados pelo preenchimento do subnível 4f, sendo que as diferenças nas configurações eletrônicas destes elementos são devidas ao número de elétrons deste subnível. Os elétrons exteriores (dos subníveis *s*, *p*, e às vezes *d*, das camadas 5 e 6 são envolvidos em ligações químicas com outros átomos.

Os ETR³⁺ têm tamanho de raio iônico similar ao do Ca e, por isso, substituem facilmente este elemento, porém os ETR se hidrolisam mais facilmente precipitando como hidróxidos. Devido ao fato dos ETR serem tipicamente trivalentes, a introdução destes elementos no lugar do Ca é comumente acompanhada por uma dupla substituição como, por exemplo, $\text{ETR}^{3+} + \text{Na}^+ \Leftrightarrow 2\text{Ca}^{2+}$.

Observa-se que os lantanídeos são um marcante exemplo da regra de Oddo-Harkins, pois os ETR com número atômico par são mais abundantes que seus vizinhos com número atômico ímpar, o que é devido à maior estabilidade de seus núcleos atômicos. Devido a isso, os padrões de distribuição dos ETR em gráficos formam um *zig-zag*, que só é eliminado quando os ETR são normalizados por padrões, ou seja, os conteúdos de ETR existentes em uma amostra são divididos (comparados) com os de um padrão. Em alguns casos existem controvérsias quanto ao padrão a ser utilizado para a normalização, já que existem diferentes padrões com diferentes concentrações de ETR. Normalmente para rochas se usa um condrito como padrão (representando a composição da Terra primitiva), porém para o estudo de rochas que sofreram processos de alteração (p. ex. hidrotermalismo, intemperismo, metamorfismo) podem ser utilizados outros padrões.

De acordo com Castor e Hendrick (2006), os ETR podem ser classificados segundo suas aplicações e usos na indústria. São elementos amplamente usados na indústria automotiva, na produção de vidros, em telas de computadores, televisores, em cerâmicas e pigmentos. Como catalisadores têm diversas aplicações nas refinarias de petróleo, também são utilizados em produtos farmacêuticos e em métodos avançados de filtração e remoção de microrganismos da água. Além disso, são importantes para a defesa das nações devido ao uso em mísseis, radares, sonares, binóculos, mira de rifles e lasers, equipamentos ópticos, incluindo lentes de câmeras, filtros e lentes protetoras, lasers e supercondutores. Estes elementos são utilizados em componentes eletrônicos e são essenciais na produção de lâmpadas

fluorescentes e em lâmpadas de mercúrio. Com os ETR são produzidos ímãs para um grande número de equipamentos, incluindo refrigeradores; são constituintes fundamentais em vários equipamentos de comunicação, inclusive em satélites. Também utilizados na medicina, como sensores de oxigênio, compõem agentes de contraste, constituem componentes das imagens por ressonância magnética e das tomografias. Na metalurgia são constituintes em várias ligas metálicas. Finalmente, se destaca seus usos na produção de gemas sintéticas, tecidos, estoque de hidrogênio combustível, lubrificação, fotografias e no controle da temperatura em fornos de micro-ondas.

8.2 OS ETR DO AGN

Os ETR estão concentrados em pegmatitos e porções grosseiras do AGN, que constituem as fases finais de evolução do albita granito. Os principais minerais portadores destes elementos são a xenotima e a gagarinita (Pires *et al.* 2006), sendo que este último pode apresentar inclusões de fluocerita. Os elevados teores de Y e ETR existentes nestas fases tardias também possibilitou a cristalização de um novo mineral com significativos teores de ETR denominado waimirita (YF_3), cujas características mineralógicas e cristal químicas podem ser vistas em Bastos Neto *et al.* (2014) e Atêncio *et al.* (2015).

A distribuição e caracterização dos pegmatitos, bem como a orientação das porções grosseiras do granito, por serem os principais portadores de ETR, estão sendo estudadas a fim de verificar suas associações com os sistemas de falhas e com o possível vínculo com os bolsões criolíticos. Deve-se destacar que neste trabalho só está sendo realizado o estudo dos teores de ETR nos pegmatitos e a caracterização da gagarinita e xenotima, que são os principais portadores destes elementos.

Pires *et al.* (2006) determinaram a composição química e estrutural da xenotima proveniente de diferentes porções do AGN e concluíram que, além do Y, possui concentração elevadas de ETRP, especialmente de Er e Yb, porém nenhum estudo foi realizado até o momento para estudar as características da xenotima dos pegmatitos. Pires *et al.* (op. cit.) também caracterizaram a gagarinita dos cristais existentes na base do bolsão criolítico B e as exsoluções de fluocerita dos cristais de

gagarinita. O estudo da gagarinita sem exsolução de fluocerita, que ocorre nos pegmatitos está sendo investigada neste trabalho.

Loureiro (2011) descreveu a composição química do concentrado de xenotima do AGN como contendo 61,60% de óxidos de ETR, sendo que destes 98,4% são de ETRP. A fim de beneficiar os ETR desta subfácies, Torem e Scorzelli (1995) realizaram ensaios de separação de xenotima do zircão, porém os resultados obtidos não tiveram muito sucesso. Vieira e Lins (1997) realizaram ensaios de concentração em escala piloto e mostraram a possibilidade de se obter concentrados de xenotima, com teores médios de 20% de ítrio como subproduto da produção de cassiterita.

9 OS PEGMATITOS

9.1 GENERALIDADES

O termo pegmatito é usualmente empregado no sentido textural, segundo a definição de Jahns (1955). Conforme este autor, pegmatitos são rochas holocristalinas que apresentam, pelo menos em parte, uma granulação muito grosseira, contendo como principais constituintes os minerais encontrados tipicamente em rochas ígneas comuns, mas com a característica de apresentarem extremas variações no que se refere ao tamanho dos grãos. Além do aspecto textural (granulação muito grosseira), a designação pegmatito é aplicada para descrever fusões residuais de estágio tardio, que acumulam altas concentrações de voláteis dissolvidos, quase fluidos, onde os átomos movem-se facilmente. Mesmo com taxas de resfriamento moderadas, podem crescer cristais muito grandes em um magma fluido rico em voláteis, que são excelentes portadores de ETR.

A maior parte dos minerais encontrados nos pegmatitos pertence a três classes predominantes: silicatos, fosfatos e óxidos. As paragêneses dos pegmatitos podem ser complexas e podem ser enriquecidas em componentes voláteis com grande mobilidade (F_2 , B_2O_3 , H_2O) e em álcalis raros (Li, Rb, Cs).

Cameron *et al.* (1949) propuseram uma sequência de cristalização e associação mineralógica em vários níveis dos pegmatitos e estabeleceram que as associações mineralógicas mais comuns são compostas, basicamente, por

plagioclásio, feldspato e quartzo ou por combinações desses minerais com biotita, muscovita, ambligonita, espodumênio e lepidolita.

De acordo com Černý (1982a), os pegmatitos formados em grande profundidade têm origem anatética; produto da remobilização crustal.

Os corpos pegmatíticos correspondem, em sua composição global, àquela dos granitos alcalinos supersaturados em SiO_2 , produtos de solidificação de um magma residual e com cristalização fracionada. Jahns (1955) in Mason (1971) resumiu os dados sobre a origem dos pegmatitos, considerando a fusão residual proveniente da cristalização fracionada do magma.

Diferentemente dos pegmatitos clássicos, no AGN, ao invés de cristalizar muscovita rica em lítio e/ou lepidolita, as micas formadas são polilitionita e anita.

De acordo com Üebel (1977), o crescimento cristalino orientado característico de alguns pegmatitos é produzido a partir das paredes externas por cristalização centrípeta, sendo que a parte mais interna não é orientada. Nos pegmatitos em estudo não existe orientação no crescimento cristalino.

De uma maneira geral, são reconhecidos dois estágios de evolução na formação dos pegmatitos: o estágio magmático (as soluções pegmatíticas seriam alojadas e cristalizadas em sistema fechado) e o estágio hidrotermal, durante o qual as soluções reagiriam com as assembleias primárias, provocando sucessivas substituições num sistema aberto. Esses sistemas seriam formados pela fusão parcial de material crustal ou como um líquido final, produzidos durante o resfriamento. Alguns pesquisadores reconhecem a importância dos processos metassomáticos (por fase fluida aquosa) nas rochas silicáticas, e afirmam que sem estes processos é impossível a formação de pegmatitos com valor econômico.

9.2 CLASSIFICAÇÃO DOS PEGMATITOS

A classificação de pegmatitos depende de uma grande variação de fatores como: composição química e mineralógica, textura, estrutura interna, forma e tamanho do corpo pegmatítico, relações com a rocha encaixante e gênese. A seguir é apresentada uma síntese das principais ideias, com o objetivo de diferenciar os pegmatitos segundo as proposições de diferentes autores e, com base nestas propostas, classificar os pegmatitos do albita granito Madeira.

CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA MINERALOGIA E ESTRUTURA INTERNA

Esta classificação foi elaborada por Fersman (1931) e sistematizada em estrutura zonada por Cameron *et al.* (1949). Estes autores classificaram os pegmatitos como:

a) Homogêneos ou Simples (constituídos essencialmente por quartzo, feldspatos alcalinos e micas), que possuem textura homogênea desde a zona marginal até o núcleo. Segundo os autores, estes pegmatitos não têm interesse econômico para elementos raros.

b) Heterogêneos ou Complexos (constituídos por quartzo, feldspatos, micas e minerais raros em considerável quantidade). Conforme os autores, estes pegmatitos apresentam estrutura zonada, com elevado grau de diferenciação mineralógica. Estes pegmatitos possuem quatro tipos de zonas principais: zona de borda ou marginal, zona mural, zona intermediária e núcleo. Normalmente os minerais raros concentram elementos de interesse econômico.

CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA GLOBAL

Segundo Landes (1933), os pegmatitos podem ser classificados como:

a) Pegmatitos Ácidos: Compreendem a maioria dos pegmatitos com interesse econômico, sendo geralmente denominados de pegmatitos graníticos. Os principais minerais constituintes deste tipo são: quartzo, feldspatos alcalinos (microclínio e/ou albita), micas (muscovita e/ou biotita) e um número considerável de minerais raros de lítio, rubídio, berílio, célio, nióbio, tântalo e elementos terras raras.

b) Pegmatitos Básicos: São pegmatitos máficos, com composição ferromagnésiana. Os pegmatitos básicos formam corpos lenticulares de olivina, piroxênio e plagioclásio cálcico constituindo peridotitos, gabros e outras rochas máficas. Este tipo de pegmatito é relativamente comum, sendo raros os que contêm minerais econômicos.

c) Pegmatitos Intermediários: São os pegmatitos que possuem mineralogia comum aos dois tipos descritos anteriormente.

CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA PETROGÊNESE E GEOQUÍMICA

As mais avançadas classificações disponíveis na atualidade são aquelas baseadas em conceitos geológicos e petrogenéticos das formações pegmatíticas. A classificação de Rudenko *et al.* (1975) associa diversas características que contribuíram para a formação de um pegmatito, como a mineralogia, geoquímica, profundidade de formação e grau de metamorfismo das rochas hospedeiras. O quadro a seguir sintetiza esta classificação.

Quadro 1: Classificação de pegmatitos, segundo Rudenko *et al.* (1975).

Formação do pegmatito	Subformação do pegmatito	Tipo de pegmatito	Mineralização	Relação de granitos	Nível de emplacement	Grau de metamorfismo da encaixante
Cerâmico		Cerâmico	cerâmico; U, ETR	normal biotita; leucocrático e alaskito	muito profundo	granulito; sillimanita-almandina anfibolito
	Portador de mica	portador de moscovita	moscovita; U, ETR, Be		profundo	cianita-almandina anfibolito
	Portador de berilo	Be, Ta, Nb, (Sn)	Be, (Ta, Nb)	leucocrático, alaskito		
metal raro	portador de lítio	pollucita (Li, Cs)	Ta, Cs, Be, Li Rb, (Sn)	Be, Li, Cs, Ta, Rb	portador de F, Li	intermediário estauroлита-almandina anfibolito; epidoto anfibolito ; xisto verde
		espodumênio (Li)	Li, Be, Ta, Nb (Sn)	Li, Ta, Be, (Nb)		
		lepidolita (F, Li)	Li, Ta, Be, (Sn)	(Ta, Li, Cs, Be)		
	portador de elementos de terras raras	ETR,U, Th, Nb	(ETR, Nb)	alcalino		
	portador de cristal de rocha	quartzo porfiroblasto (sem cavidade)	cristal de rocha	leucocrático, alaskito	superficial (intermediário)	
Tipo Murzinka com cavidades						
Tipo Kazakhstan com cavidades						

9.3 PEGMATITOS DO ALBITA GRANITO MADEIRA

Os pegmatitos do albita granito localizam-se no AGN (Fig.5), são corpos métricos e possuem orientação preferencial N-S. Estes foram descritos por Costi (2000) como constituindo uma auréola no entorno do depósito criolítico maciço, podendo, localizadamente, ocorrerem intercalados nos bolsões de criolita maciça. Existem ainda pegmatitos de borda, localizados no AGB.

As paragêneses dos pegmatitos do AGN são complexas, onde os minerais de minério de ETR e Y são a gagarinita e a xenotima.

Considerando que os corpos pegmatíticos do albita granito Madeira possuem como minerais essenciais: quartzo, microclínio, albita, criolita, gagarinita, xenotima, polilitonita, galena, hematita, torita; e considerando as classificações apresentadas anteriormente, é possível classificar estes pegmatitos como portador de elementos terras raras, do tipo ETR, U, Th e Nb de Rudenko.

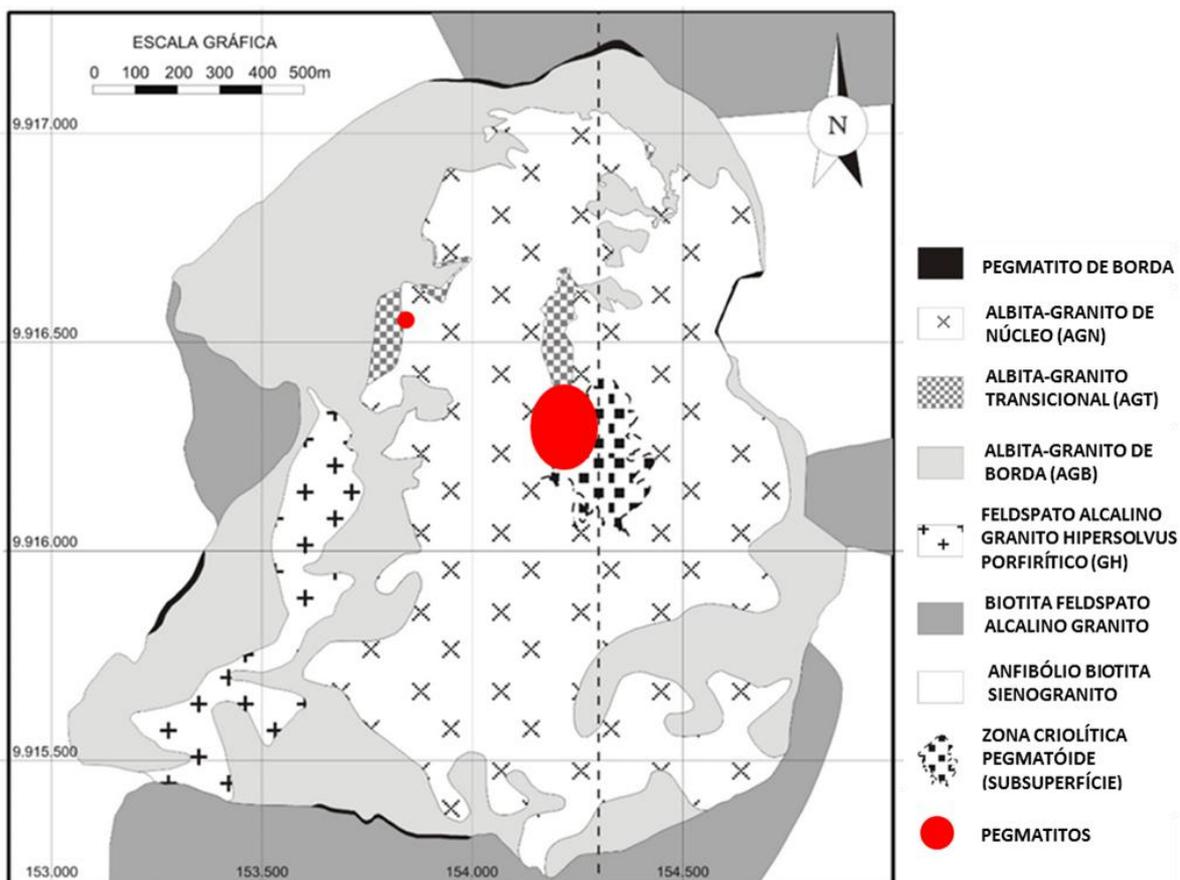


Figura 5 Mapa de localização dos pegmatitos no albita granito Madeira. (Modificado de Minuzzi *et al.*, 2005).

10 A XENOTIMA

10.1 GENERALIDADES

A xenotima (YPO_4) pertence ao sistema tetragonal, grupo espacial $I4_1/amd$ e é isoestrutural como o zircão (Ni *et al.* 1995). Os ETR, em especial os ETRP, substituem o Y com facilidade devido a similaridades entres os raios iônicos destes elementos. Hutton (1947) e Deer *et al.* (1966) descrevem as possíveis confusões do zircão ou da titanita com a xenotima e apontam as propriedades diagnósticas. Porém, no albita granito Madeira a xenotima possui propriedades muito distintas, sendo facilmente identificáveis pela forma prismática alongada, com cores de interferência de segunda ordem, que as distinguem dos zircões associados.

A ocorrência de xenotima como mineral acessório em rochas graníticas foi amplamente estudada, podendo ser citado, como exemplo, os trabalhos de Pointer *et al.* (1988); Thorpe *et al.* (1990); Miller *et al.* (1992); Ward *et al.* (1992); Wark and Miller (1993); Casillas *et al.* (1995); Förster and Rhede (1995); Bea (1996); Förster (1997 e 1998). Os artigos de Amlı (1965); Demartin *et al.* (1991); Petersen & Gault (1993); Masau *et al.* (2000) descrevem a xenotima e pegmatitos graníticos e Kositcin *et al.* (2003) em rochas hidrotermalizadas.

Deve-se destacar que, em caso de granitos com fusão parcial, a xenotima pode ser utilizada para a compreensão da evolução e da idade da rocha fonte. O estudo dos elementos traços neste mineral indica em qual condição de evolução do magma e se sua formação teve participação de fluídos diagenéticos ou hidrotermais (Kositcin *et al.* 2003). Por possuir U na estrutura, é um mineral importante para datações radiométricas (Suzuki & Adachi 1991; Rhede *et al.* 1996; Cocherie *et al.* 2007). Juntamente com a monazita, a xenotima constitui um geotermômetro (Heinrich *et al.* 1997; Gratz & Heinrich 1997; Andrehs & Heinrich 1998) e também com a granada (Pyle & Spear 2000). Alguns trabalhos colocam em evidência as variações composicionais deste mineral de acordo com a rocha hospedeira, sendo sua maior abundância em granitos peraluminosos pobres em Ca (Bea 1996; Wark & Miller 1993; Förster 1998).

10.2 A XENOTIMA DO ALBITA GRANITO MADEIRA

A xenotima ocorre em diferentes locais e profundidades no albita granito, sendo mais frequente nas porções grosseiras do granito do que nas porções mais finas, porém é muito mais enriquecida nos pegmatitos, onde também apresenta cristais muito maiores. Quase todas as amostras provenientes de furos de sondagem apresentam grãos de xenotima. Quando observados ao microscópio óptico verifica-se que possui grãos com dimensões que variam de 0,05mm a 0,44mm, porém, em casos menos comuns, ocorrem grãos que podem ser observados macroscopicamente devido aos tamanhos centimétricos. Todos os cristais têm hábito prismático alongado, sendo incolor em LN e com birrefringência de segunda ordem em LP.

11 A GAGARINITA

11.1 GENERALIDADES

A gagarinita é um mineral de rara ocorrência e foi assim denominado em homenagem ao astronauta Yuri Gagarin. A gagarinita foi descrita pela primeira vez em granitos albitizados, associados com veios de quartzo-microclínio, dos maciços Verkhnee Espe e Vent (Cazaquistão), por Stepanov e Severov (1961). Este fluoreto de terras raras também foi encontrado em rochas análogas na Rússia, sendo que posteriormente registrada sua ocorrência no Depósito de Nb-Ta Katungino (Rússia) e em outras localidades, como Shar Tolgoi (Mongólia), Gjerdingselva (Noruega), Washington Pass (USA) e em um depósito de metais raros com criolita do leste da Sibéria.

A gagarinita é um mineral típico de rochas alcalino-metálicas enriquecidas em flúor e formadas a partir de granitos relativamente ricos em álcalis (Prokof'yev & Ryabenko, 1988), ocorrendo frequentemente associada com riebeckita, micas litíferas e com minerais acessórios como o pirocloro, o zircão e a bastnaesita.

Segundo Hughes e Drexler (1994), a fórmula geral da gagarinita é $\text{Na}_x(\text{Ca}_x\text{Y,ETR}_{2-x})\text{F}_6$, sendo que os ETR ocorrem substituindo parcialmente o Y e os

teores de Na e Ca podem ser muito variados. Voronkov *et al.* (1962) e Dib *et al.* (1987) consideraram a gagarinita como pertencendo ao sistema trigonal, porém na maior parte dos trabalhos é classificada como pertencente ao sistema hexagonal; grupo espacial $P6_3/m$ (Stepanov & Severov 1961, Pyatenko & Voronkov 1962, Kabalov *et al.* 1993, Kamenetskaya & Kamenetskii 1994, Hughes & Drexler 1994 e Jambor *et al.* 1996).

Os cátions na gagarinita estão distribuídos em dois sítios cristalográficos, um com ^{VI}Na e outro com $^{IX}(Ca, Y \text{ e } ETR)$. Neste último, Pyatenko & Voronkov (1962) demonstraram que pode haver também a presença de ^{IX}Na até o limite máximo de 0,5 átomos por unidade de fórmula. Relativamente à estrutura cristalina, Jambor *et al.* (1996) recalcularam os parâmetros cristalográficos de duas amostras de gagarinita e compararam com os dados da literatura, definindo que a unidade celular tem aproximadamente as seguintes dimensões: $a \cong 5,9 - 6,0 \text{ \AA}$ e $c \cong 3,5 - 3,6 \text{ \AA}$.

11.2 A GAGARINITA DO ALBITA GRANITO MADEIRA

A existência de gagarinita no albita granito foi constatada pela primeira vez por Minuzzi *et al.* (2001). Posteriormente, Pires *et al.* (2006) verificaram que este mineral ocorre de forma restrita, localizado na porção central do AGN. Nestas descrições a gagarinita ocorre como cristais isolados entre grãos de criolita. Estes cristais são descritos como anédricos, com brilho vítreo a resinoso e com fraturas irregulares. Pires *et al.* (2006) descrevem sua associação com a criolita, polilitionita, argilominerais, ortoclásio, quartzo com extinção ondulante e a anita. Além destes, também estão descritos na paragênese riebeckita, pirocloro, torita, zircão e minerais opacos como a hematita.

12 RESULTADOS

12.1 ANÁLISES MACROSCÓPICAS

As análises macroscópicas demonstraram que as 21 amostras dos pegmatitos são heterogêneas, como podemos observar na figura 6. Estas amostras possuem cristais centimétricos e são compostas basicamente por: quartzo, albita, microclínio, criolita, polilitionita, xenotima, gagarinita, galena, esfalerita, hematita, torita, zircão e genthelvita ($Zn_4Be_3(SiO_4)_3S$); em proporções diferentes. Uma síntese das principais características macroscópicas de cada amostra é apresentada no quadro 2.

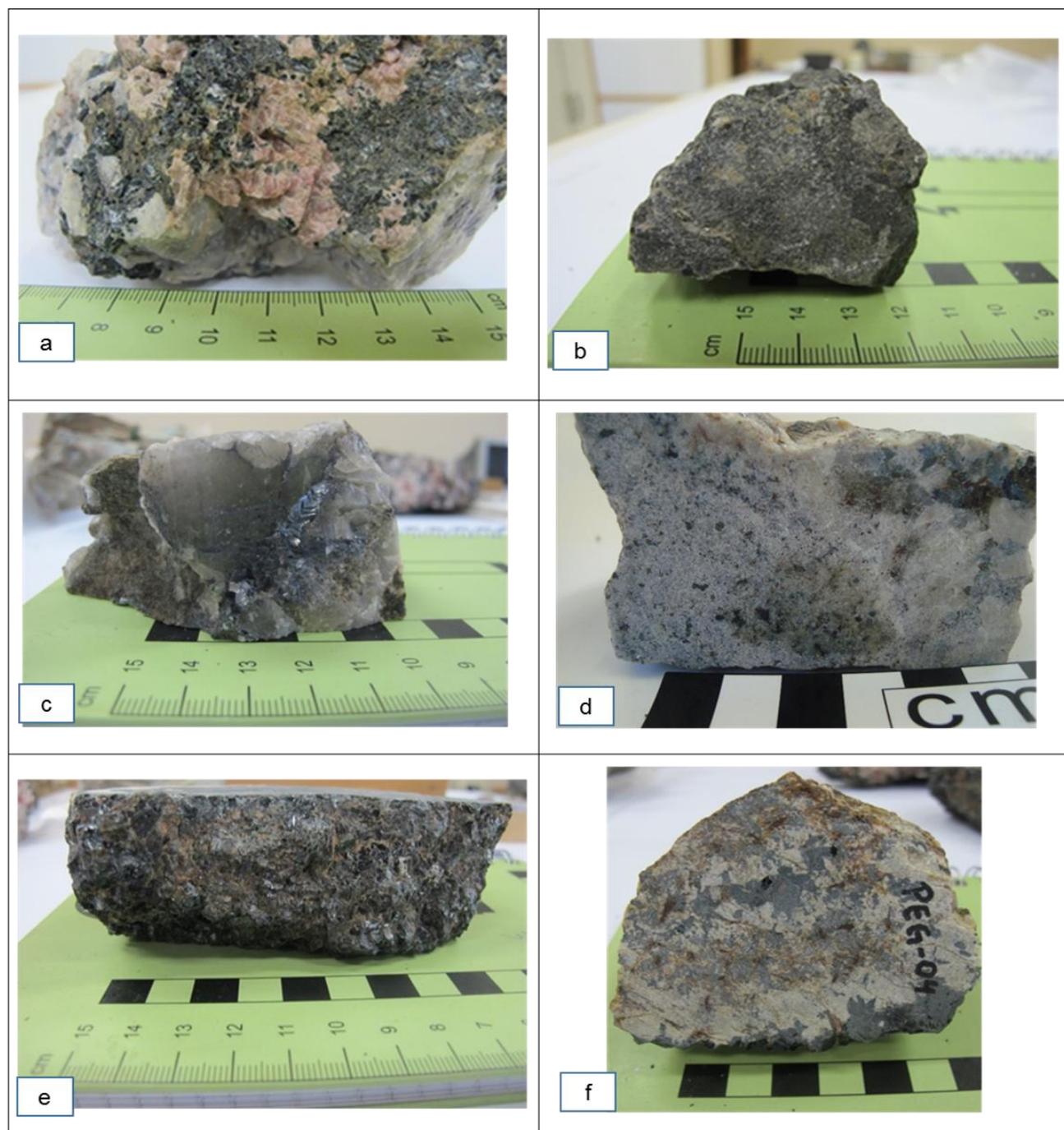


Figura 6 Pegmatitos do albita granito Madeira: a) amostra composta por polilitionita, genthelvita e quartzo; b) amostra constituída basicamente por criolita; c) amostra com grão centimétrico de quartzo, associado a galena, criolita e agregados quartzo-feldspáticos; d) amostra com a granulometria menor, composta por anfibólio, torita, quartzo, albita e microclínio; e) amostra contendo polilitionita e torita; f) amostra composta por polilitionita, torita e agregados quartzo-feldspáticos.

Quadro 2 Descrições macroscópicas das amostras dos pegmatitos do albíta granito Madeira.

AMOSTRAS	DESCRIÇÃO
PEG 01	Composta por 90% de polilitionita milimétrica associada a agregados quartzo-feldspáticos, que podem ter até 10cm.
PEG 02	Constituída por grãos cinza-escuros de polilitionita, anédricos, variando de 0,3cm a 3,0cm, compondo 70% da amostra. Possui, também, grãos marrons de criolita anédrica, variando de 0,6cm a 3,0cm, que estão dispersos na amostra e grãos subédricos prismáticos de xenotima rosada, cujos tamanhos variam de 0,4cm a 2,0cm, que também estão dispersos na amostra. Além destes, foram verificados grãos anédricos de quartzo branco leitoso, com tamanho médio de 7,0cm.
PEG 03	Possui grãos de quartzo anédricos, com cor branca leitosa, variando de 0,6cm a 4,0cm; cristais de criolita anédrica marrom, cujos grãos têm, em média, 2,0cm. Também foram verificados cristais de gagarinita, anédricos, rosados e dispersos, cujos tamanhos variam de 0,4cm a 3,0cm. Destaca-se a presença de agregados de galena com até 2,0cm.
PEG 04	Esta amostra é constituída por grãos anédricos de feldspato rosados, que variam de 0,5cm a 2,5cm e grãos de polilitionita cinza escuros, formando agregados que variam de 0,3cm a 2,5cm. Também foram identificados grãos anédricos de criolita preta, com tamanhos variando de 0,5cm a 1,2cm. Além disto, possui agregados de quartzo leitoso com até 5,0cm e óxido de ferro preenchendo fraturas.
PEG 05	A PEG 05 é formada por grãos de gagarinita com tamanhos entre 0,3cm e 1,2cm. A criolita marrom compõe cerca de 80% da amostra. Devido ao fato de ser maciça é muito difícil individualizar os grãos. Foi verificada a presença de 3 fragmentos quartzo-feldspáticos retangulares, de cor cinza esverdeados, variando de 2,5cm a 7,5cm.
PEG 06	Este pegmatito é formado por um agregado quartzo-feldspático com aproximadamente 5,0cm. Possui grãos anédricos de criolita, com cor cinza escura, que estão dispersos e cujos tamanhos variam de 0,2cm à 0,4cm. Associado a estes minerais existe um agregado de polilitionita com 5,0cm.
PEG 07	Grãos de criolita, marrom, anédricos, variando de 0,7cm à 2,0cm. Polilitionita, anédricas, formando agregados de 0,4cm à 4,0cm. Agregados quartzo-feldspáticos, variando de 0,7cm à 5,0cm. Grãos de xenotima, prismáticos, rosados, variando de 0,1cm à 1,0cm, dispersos.

PEG 08	Grãos de quartzo, que variam de 2,0cm à 4,0cm. Criolita maciça. Agregados de galena, variando de 0,6cm à 1,3cm. Grãos de gagarinita, anédricos, rosados, variando de 0,8cm à 1,0cm.
PEG 09	Grãos de quartzo branco leitoso, anédricos, variando de 0,5cm à 5,0cm. Agregados de polilitionita, milimétricos. Grãos de genthelvita, rosados, anédricos, variando de 0,3cm à 4,0cm
PEG 10	Criolita, marrom, maciça, compondo 70% da amostra. Grãos de gagarinita, anédricos, variando de 1,0cm à 3,0cm. Agregados de Galena anédricas, variando de 0,5cm à 2,0cm. Grãos de quartzo anédricos, variando de 0,5cm à 3,0cm.
PEG 11	Composta basicamente por criolita maciça, marrom. Possui vênulos preenchidos por galena e cristal de 2,0cm, avermelhado de xenotima.
PEG 12	Composta basicamente por criolita maciça, marrom. Agregados de polilitionita, com grãos de até 3,0cm.
PEG 14	Predominantemente composta por polilitionita, formando agregados milimétricos. Grãos de xenotima rosados, subédricos variando de 0,8cm à 1,2cm. Criolita maciça, preta.
PEG 14A	Amostra com a granulometria menor do que as outras PEG, predominantemente composta por quartzo e feldspato, milimétricos. Genthelvita, rosa, anédrica, centimétrica, e agregados de polilitionita e riebeckita, milimétricos.
PEG 15	Amostra composta principalmente por criolita preta, maciça; com vênulas claras irregulares. Grão euédrico de xenotima na borda, com mais de 1,0cm de comprimento.
PEG 16	Amostra composta por criolita marrom, maciça.
PEG 17	Amostra contendo fragmentos irregulares de feldspato alcalino, de cor bege, fragmentos de quartzo leitoso, agregados irregulares de criolita + polilitionita, torita entre os fragmentos de feldspato e quartzo, e grãos de xenotima subédricos, variando de 0,8cm à 1,2cm.
PEG 18	Amostra com cristais centimétricos de quartzo e feldspato alcalino; parcialmente alterado. Agregados milimétricos de polilitionita; grãos de xenotima subédricos, variando de 0,6cm à 1,3cm; torita; grãos de criolita anédricos.

PEG 19	Amostra com agregados quartzo-feldspáticos de 10cm; parcialmente alterados. Polilitionita e criolita dispersas. Muitos grãos de xenotima subédricos, variando de 0,5cm à 2,0cm; torita, avermelhada, anédrica, milimétrica.
PEG 20	Amostra com grãos de feldspato muito alterados, cinza, em prismas de até 6,0cm. Grãos de quartzo leitoso com mais de 2,0cm. Grãos de xenotima, subédricos, milimétricos e passando de 5,0cm. Criolita e galena englobando os demais minerais
PEG 21	Amostra granular média a grossa, com agregados de polilitionita. Xenotima, rosada subédrica, centimétrica. Grãos de torita avermelhados, anédricos, dispersos.

12.2 ANÁLISES MACROSCÓPICAS DA XENOTIMA E DA GAGARINITA

A xenotima é subédrica, prismática tabular, milimétrica à centimétrica, também possui cor rosada. Na imagem abaixo (Fig.7); seu formato prismático tabular fica evidente, assim como seu tamanho centimétrico.

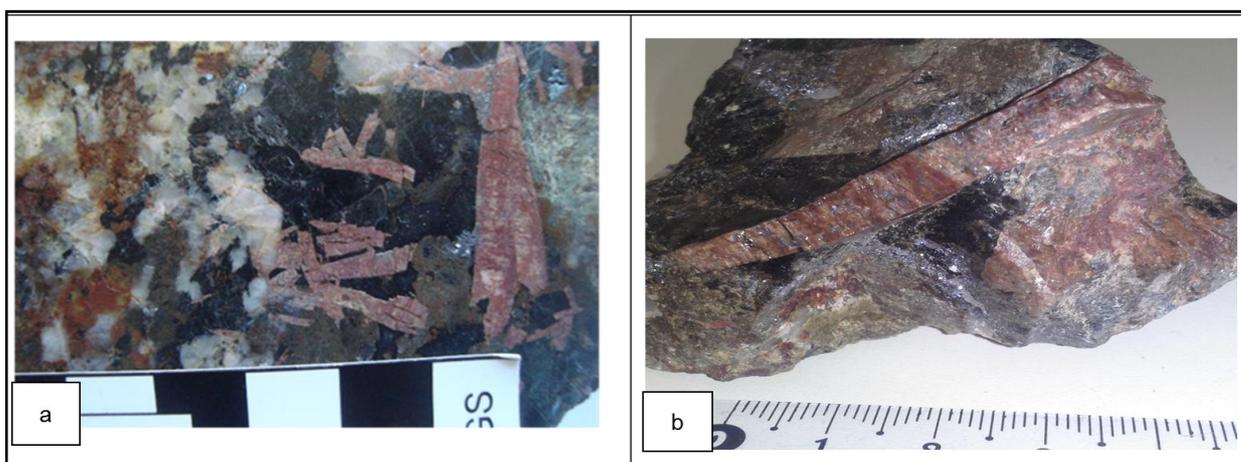


Figura 7 Xenotima dos pegmatitos do albita granito Madeira: a) agregados de xenotima, subédricos, centimétricos e rosados; associados com criolita, galena, quartzo, polilitionita e agregados quartzo-feldspáticos. b) xenotima centimétrica, rosada; associada com criolita e agregado quartzo-feldspático.

Nas análises macroscópicas, a gagarinita é anédrica, milimétrica à centimétrica e possui cor rosada, conforme é possível observar na figura 8.

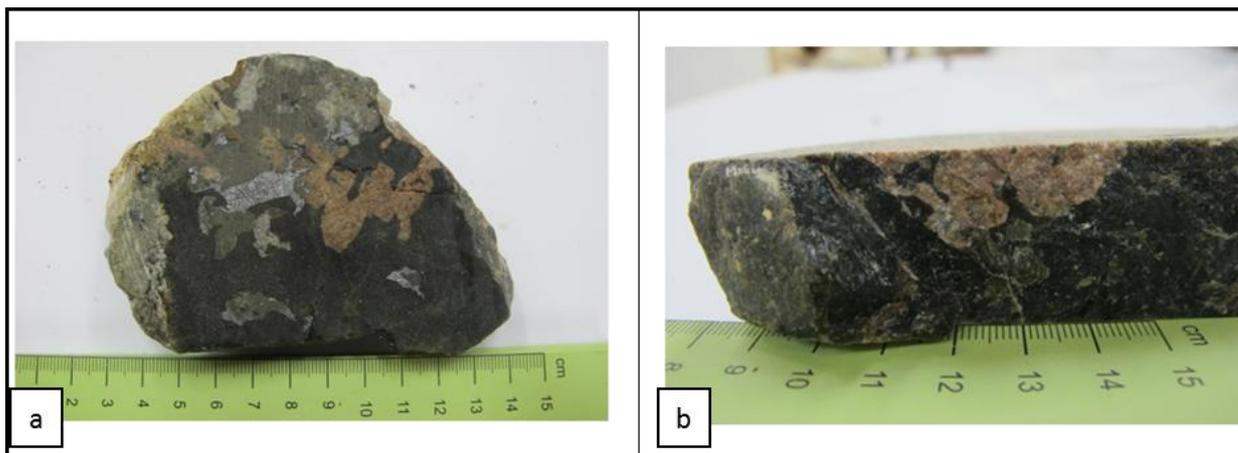


Figura 8 Gagarinita dos pegmatitos do albita granito Madeira: a) gagarinita centimétrica, rosada; associada com criolita, galena e agregados quartzo-feldspáticos. b) gagarinita centimétrica, rosada; associada com criolita.

12.3 ANÁLISES DOS PEGMATITOS POR MICROSCOPIA ÓPTICA

Nas análises de 10 lâminas delgadas dos pegmatitos observa-se que, conforme verificado nas análises macroscópicas, os pegmatitos são muito heterogêneos e os minerais podem ocorrer com tamanhos e proporções diferentes nestas amostras. De forma geral, os grãos de xenotima e gagarinita ocorrem associados principalmente com albita, quartzo, microclínio, criolita, polilitonita, galena, torita e hematita, que existem em diferentes paragêneses. As descrições detalhadas das lâminas podem ser verificadas no anexo 1.

12.4 ANÁLISES POR MICROSCOPIA ÓPTICA DA XENOTIMA E DA GAGARINITA

A xenotima é subédrica, prismática tabular, milimétrica à centimétrica, castanha em luz natural, comumente com fraturas preenchidas por hematita; como ilustrado na figura 9. Este mineral possui sinal óptico uniaxial positivo e birrefringência de segunda ordem.

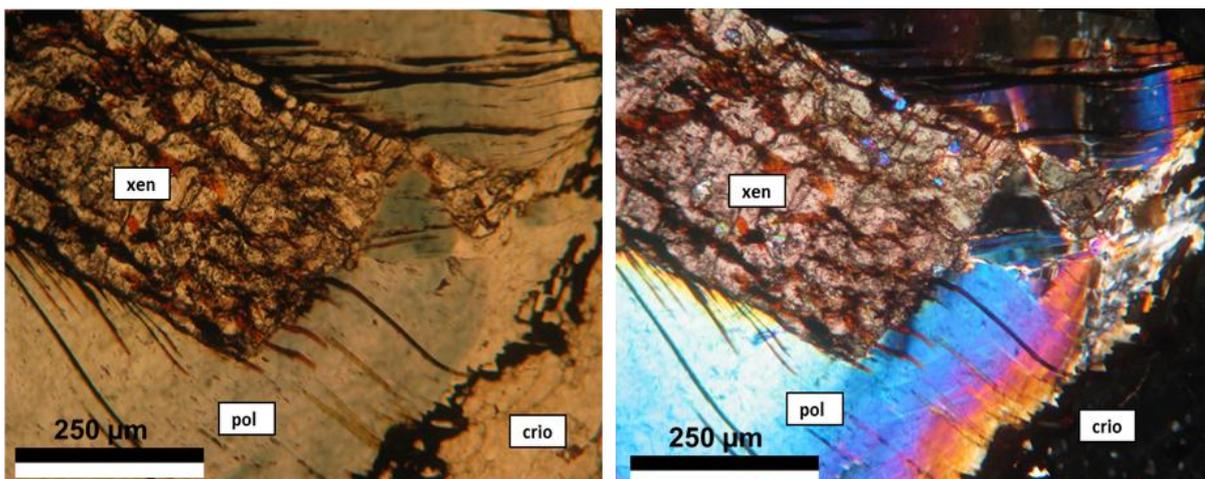


Figura 9 Fotomicrografias da xenotima associada à polilitionita e à criolita; a) Em luz natural e b) em luz polarizada.

A gagarinita é anédrica, milimétrica à centimétrica, em luz natural é incolor. Este fluoreto possui sinal óptico uniaxial positivo e birrefringência de segunda ordem, como é possível observar na figura 10. Os cristais deste mineral frequentemente apresentam fraturas irregulares.

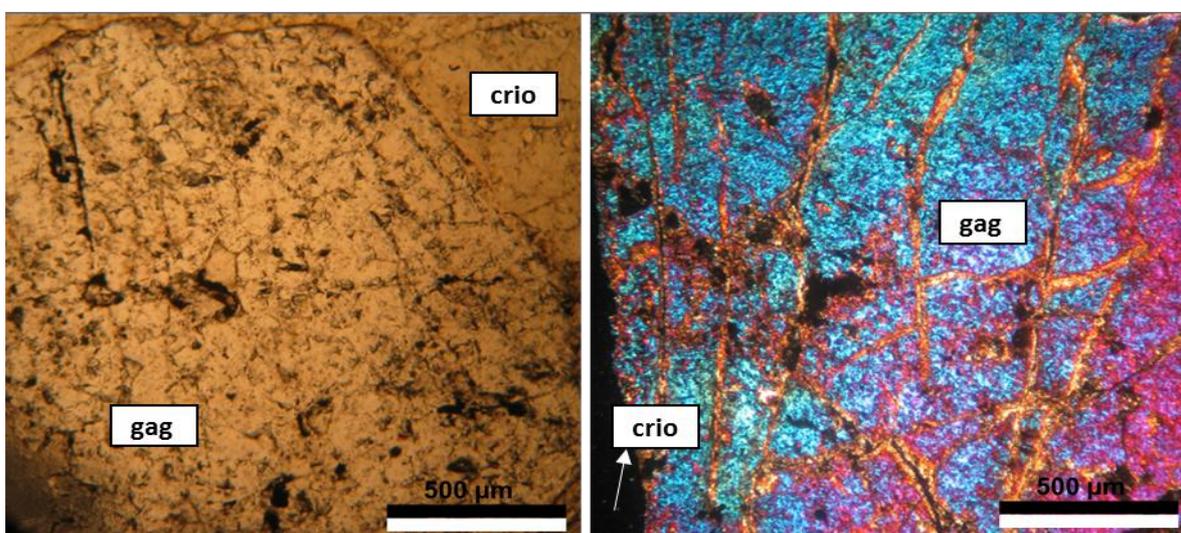


Figura 10 Fotomicrografias de gagarinita associada à criolita; a) em luz natural e b) em luz polarizada.

12.5 ANÁLISES DA XENOTIMA E DA GAGARINITA POR DIFRAÇÃO DE RAIOS X.

Os dados obtidos através das análises por difração de raios X permitiram gerar o difratograma da xenotima e da gagarinita (Figs.11 e 12). Estes difratogramas

foram utilizados para o cálculo dos parâmetros cristalográficos de cada um dos minerais citados anteriormente. Para isto foi utilizando o programa LCLSQ 8.0 (BURNHAM, 1993), sendo $a=6.85\text{\AA}$; $c=6.02\text{\AA}$ e $v=282.69\text{\AA}^3$ para a xenotima e $a=6.00\text{\AA}$, $c=3.54\text{\AA}$ e $v=110.53\text{\AA}^3$, para a gagarinita.

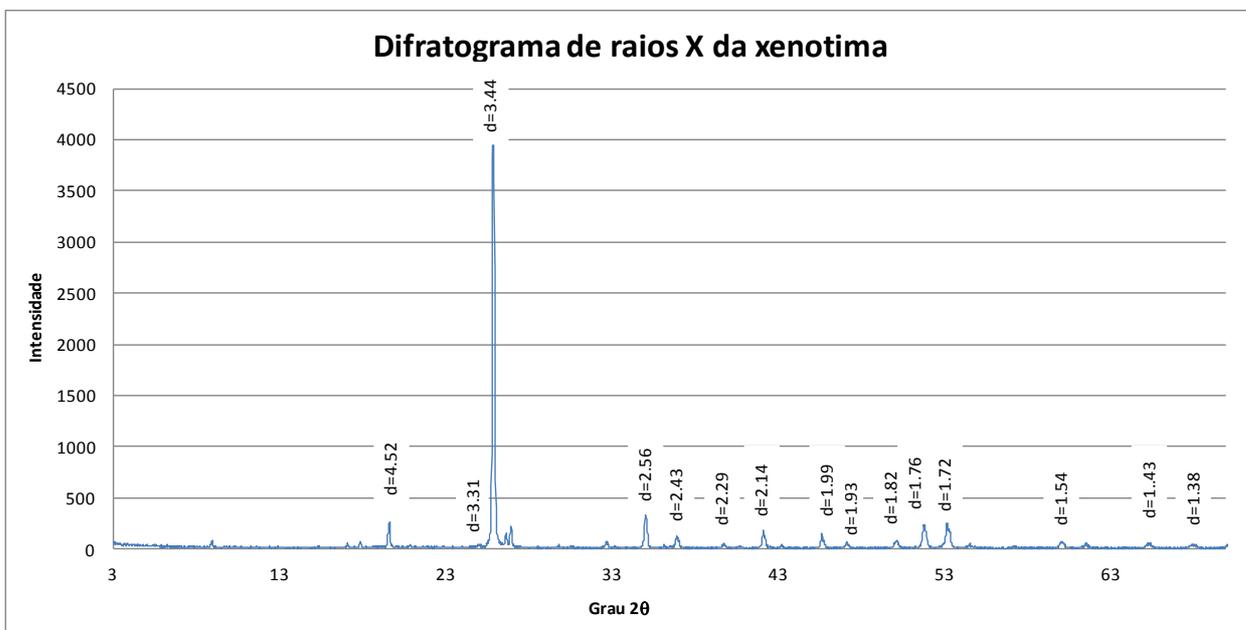


Figura 11 Difratograma de raios X da xenotima.

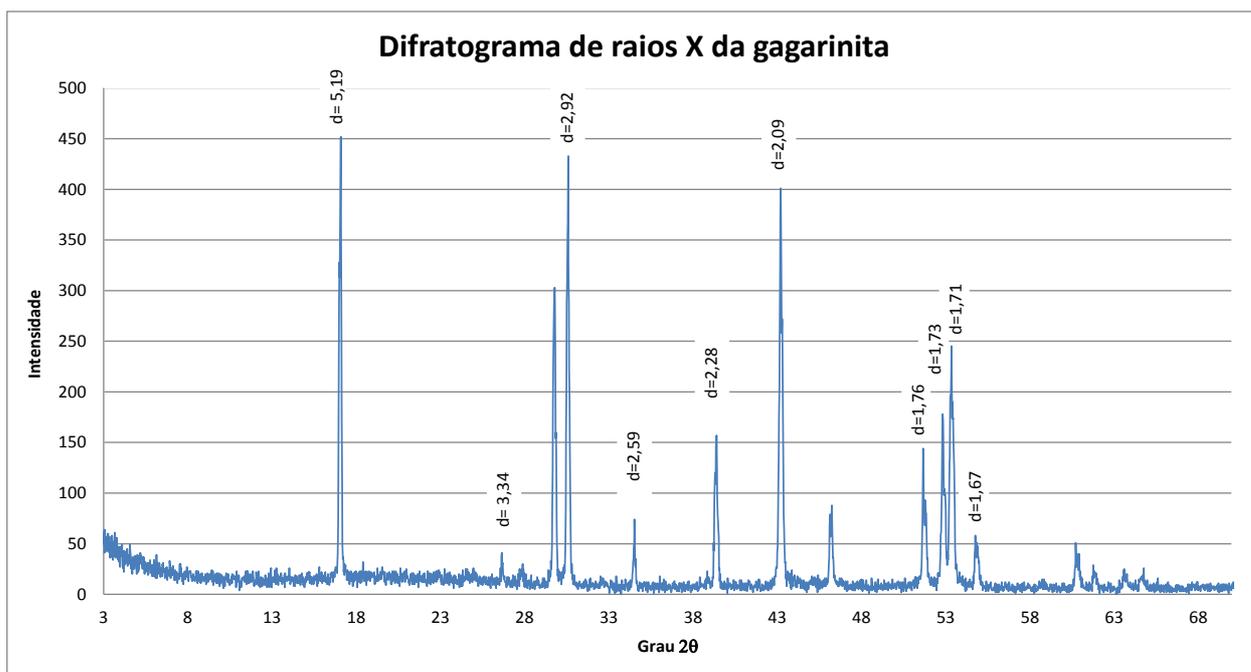


Figura 12 Difratograma de raios X da gagarinita.

12.6 ANÁLISES DA XENOTIMA E DA GAGARINITA POR MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.

As análises ao MEV permitiram observar a variação na composição dos grãos de xenotima e gagarinita. Um perfil foi realizado em um grão de xenotima contendo gagarinita, evidenciando altos teores de Y e P na xenotima e Ca e F na gagarinita (Fig.13).

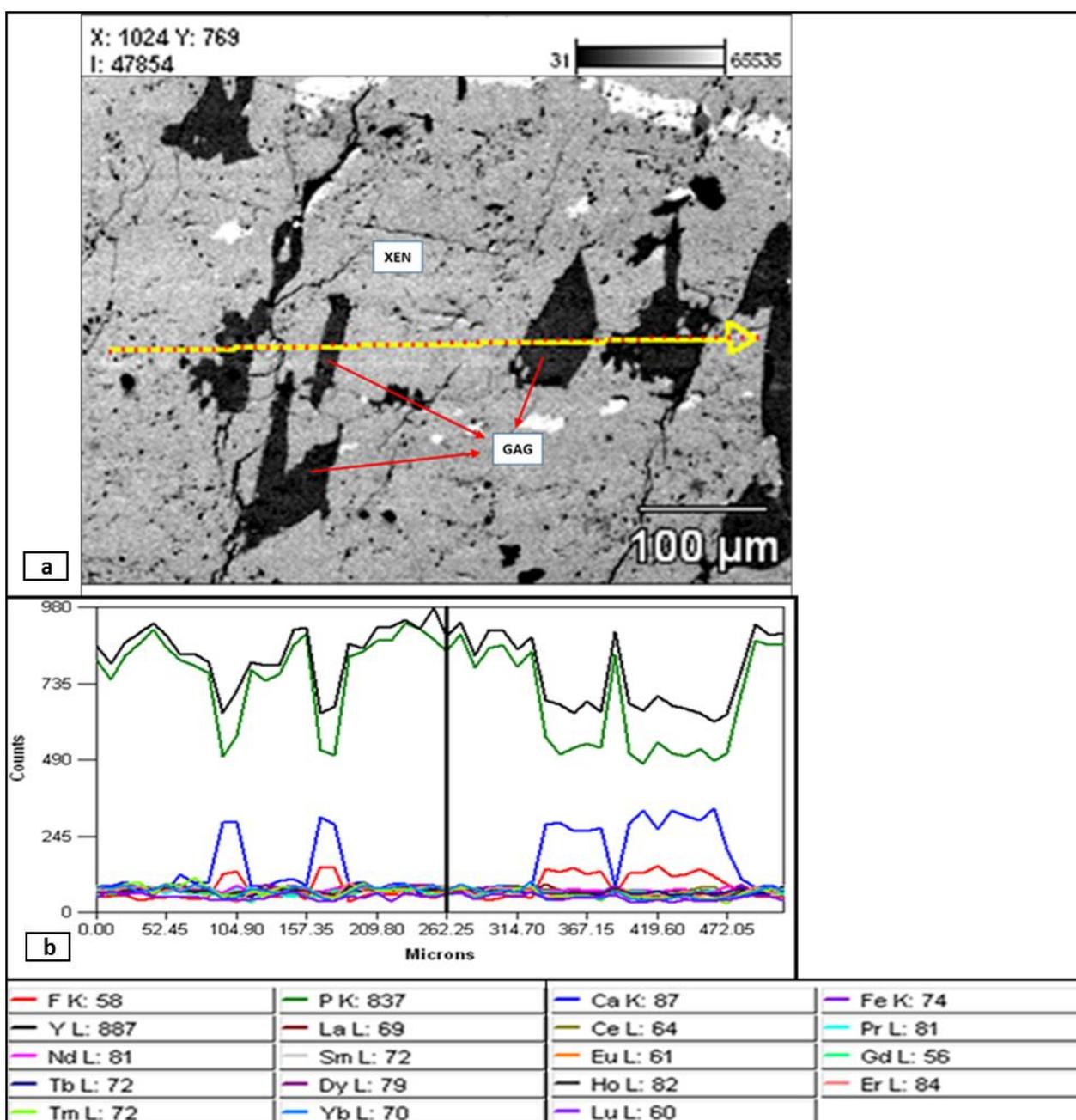


Figura 13 a) Fotomicrografia de xenotima e gagarinita ao MEV; b) Perfil composicional de F, P, Ca, Fe, Y e ETR.

Verifica-se que os teores de ETR são praticamente constantes na xenotima e na gagarinita.

12.7 ANÁLISES DA XENOTIMA E DA GAGARINITA POR MICROSSONDA ELETRÔNICA.

As análises por microsonda eletrônica permitiram calcular a fórmula mineral da xenotima e da gagarinita. Para estes cálculos foram utilizados os programas Excel e Minfile. A gagarinita foi calculada com base em 6F e a xenotima com base em 4O.

A figura 14 é a fotomicrografia de um cristal de xenotima analisado por microsonda eletrônica.

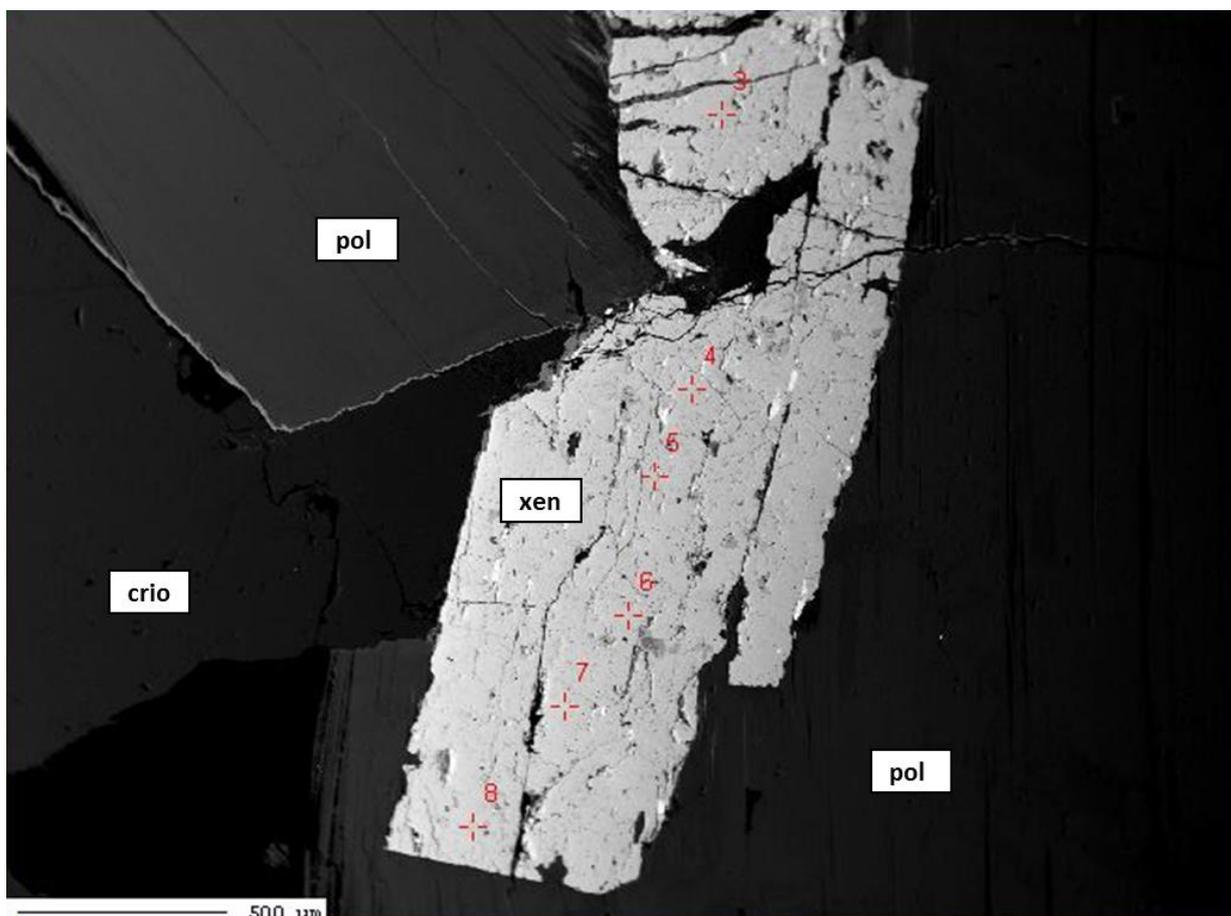


Figura 14 Pontos analisados por microsonda eletrônica em um grão de xenotima de pegmatito.

Com estas análises foi constatado que a xenotima é heterogênea ao longo do mesmo cristal (anexo 2). Na tabela 1 são apresentados os resultados dos cálculos da fórmula mineral.

Tabela 1 Resultados dos cálculos da fórmula mineral da xenotima da amostra 4.

Amostra	F	Ca	Y	P	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Carga Total
4ExAXen 1.1	0,02	0,00	0,59	0,97	0,01	0,00	0,07	0,06	0,10	0,02	0,15	0,02	7,88
4ExAXen 1.2	0,12	0,00	0,56	0,91	0,01	0,00	0,07	0,04	0,09	0,02	0,16	0,02	7,56
4ExAXen 1.3	0,22	0,00	0,54	0,83	0,01	0,00	0,07	0,04	0,09	0,01	0,15	0,02	7,22
4ExAXen 1.4	0,21	0,00	0,52	0,88	0,01	0,00	0,07	0,05	0,09	0,02	0,14	0,02	7,33
4ExAXen 1.5	0,21	0,00	0,54	0,88	0,01	0,00	0,07	0,03	0,09	0,02	0,13	0,02	7,33
4ExAXen 1.6	0,19	0,00	0,54	0,87	0,01	0,00	0,07	0,04	0,09	0,01	0,13	0,02	7,34
4ExAXen 1.7	0,21	0,00	0,52	0,86	0,01	0,00	0,07	0,05	0,09	0,01	0,15	0,02	7,30
4ExAXen 1.8	0,14	0,00	0,54	0,91	0,01	0,00	0,08	0,04	0,09	0,02	0,14	0,02	7,54
4ExAXen 1.9	0,16	0,00	0,55	0,92	0,01	0,00	0,07	0,03	0,09	0,02	0,12	0,02	7,51
4ExCXen 1.10	0,06	0,01	0,57	0,93	0,01	0,01	0,08	0,05	0,10	0,02	0,15	0,02	7,71
4ExCXen 1.11	0,20	0,00	0,53	0,87	0,01	0,00	0,07	0,04	0,09	0,02	0,14	0,02	7,32
4ExCXen 1.12	0,06	0,00	0,56	0,95	0,01	0,01	0,08	0,05	0,10	0,02	0,14	0,02	7,79
4ExCXen 1.13	0,23	0,00	0,55	0,86	0,01	0,00	0,06	0,03	0,09	0,02	0,12	0,02	7,25
4ExCXen 1.14	0,18	0,00	0,56	0,88	0,01	0,00	0,06	0,04	0,09	0,01	0,13	0,02	7,40
4ExCXen 1.15	0,15	0,00	0,55	0,90	0,01	0,00	0,07	0,03	0,09	0,02	0,15	0,02	7,51
4ExCXen 1.16	0,17	0,00	0,53	0,89	0,01	0,01	0,06	0,04	0,09	0,02	0,15	0,02	7,43
4ExCXen 1.17	0,13	0,01	0,56	0,90	0,01	0,00	0,07	0,04	0,09	0,02	0,14	0,02	7,52
4ExCXen 1.18	0,21	0,00	0,53	0,86	0,01	0,01	0,06	0,06	0,09	0,01	0,13	0,02	7,30
4ExCXen 1.19	0,08	0,00	0,55	0,97	0,00	0,00	0,07	0,04	0,10	0,02	0,14	0,02	7,77
4ExCXen 1.20	0,19	0,01	0,56	0,86	0,01	0,00	0,07	0,04	0,09	0,02	0,14	0,02	7,31
4ExCXen 1.21	0,22	0,00	0,51	0,87	0,01	0,00	0,07	0,04	0,09	0,02	0,16	0,02	7,29
4ExCXen 1.22	0,22	0,01	0,53	0,87	0,01	0,00	0,06	0,04	0,09	0,01	0,12	0,02	7,26
4ExCPerfil 1	0,21	0,00	0,52	0,87	0,01	0,01	0,07	0,04	0,09	0,02	0,15	0,02	7,33
4ExCPerfil 2	0,19	0,00	0,54	0,89	0,01	0,00	0,06	0,04	0,09	0,02	0,13	0,02	7,38
4ExCPerfil 5	0,13	0,00	0,58	0,91	0,01	0,00	0,07	0,03	0,09	0,02	0,13	0,02	7,55
4ExCPerfil 6	0,08	0,01	0,56	0,94	0,01	0,00	0,07	0,05	0,09	0,02	0,15	0,02	7,69
4ExCPerfil 7	0,05	0,00	0,56	0,96	0,01	0,00	0,07	0,04	0,09	0,02	0,17	0,02	7,81

Verifica-se que a xenotima existe a presença de significativa quantidade de ETR. Estes elementos, conforme já descrito na literatura substituem o Y. O que foi verificado ao obter correlações negativas entre o F e o Σ ETR. A presença de significativa quantidade de F na xenotima do albíta granito foi discutida por Bastos Neto et al. (2012), quando foi comprovada a entrada deste elemento em substituição ao oxigênio tetraédrico. As pequenas quantidades de Ca no sítio do Y também são esperadas, pois estes elementos têm raios iônicos muito similares.

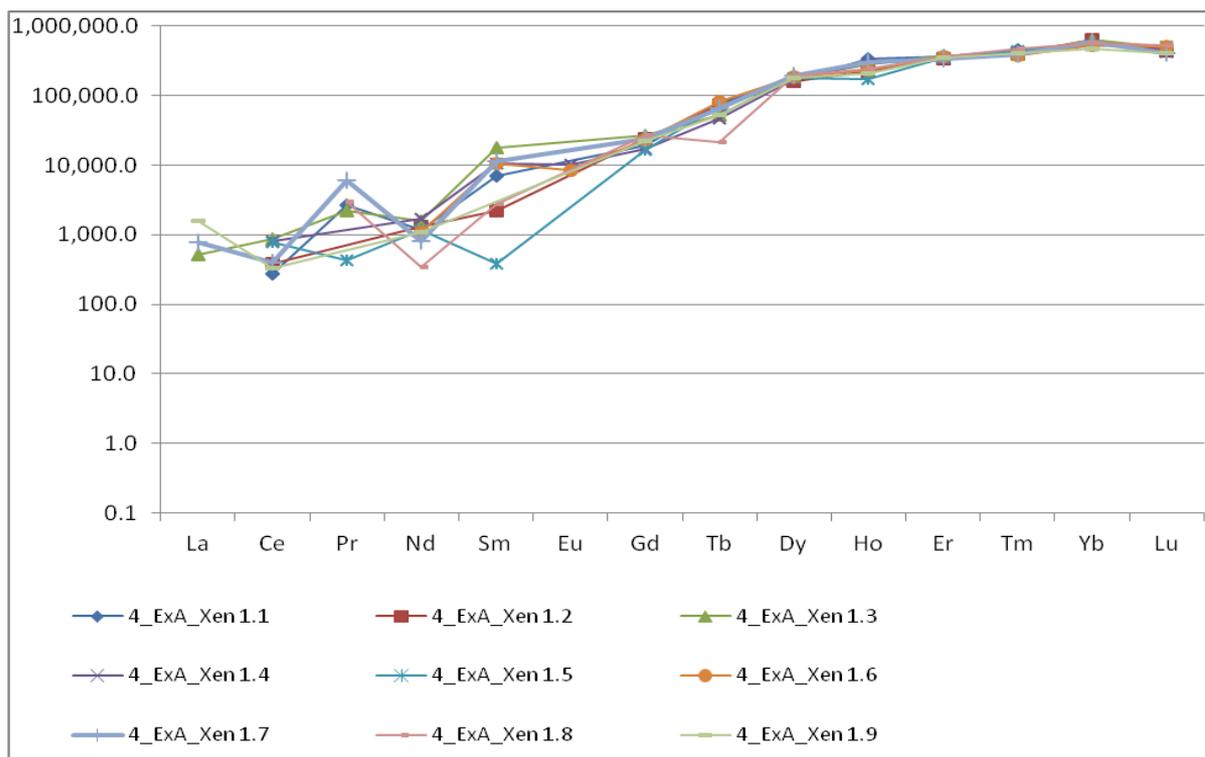


Figura 15 Padrões de distribuição dos ETR de xenotima normalizados pelo condrito C1. (lâmina 4).

Conforme pode ser observado na figura anterior, os padrões de distribuição dos ETRL são caóticos e registram a heterogeneidade destes elementos em todos os pontos analisados e diferem dos ETRP que apresentam padrão constante. Provavelmente esta heterogeneidade seja decorrente do fato dos grãos de xenotima estarem muito alterados em decorrência, principalmente, da corrosão ocasionada pela criolita tardia. A razão pela qual os ETRP possuem padrão constante, não sendo afetados por esta criolita deve ser mais bem investigada. Independente do padrão de distribuição, a xenotima tem conteúdo muito maior de ETRP do que de ETRL.

GAGARINITA

A figura 16 indica os locais de um cristal de gagarinita analisada por microsonda eletrônica.

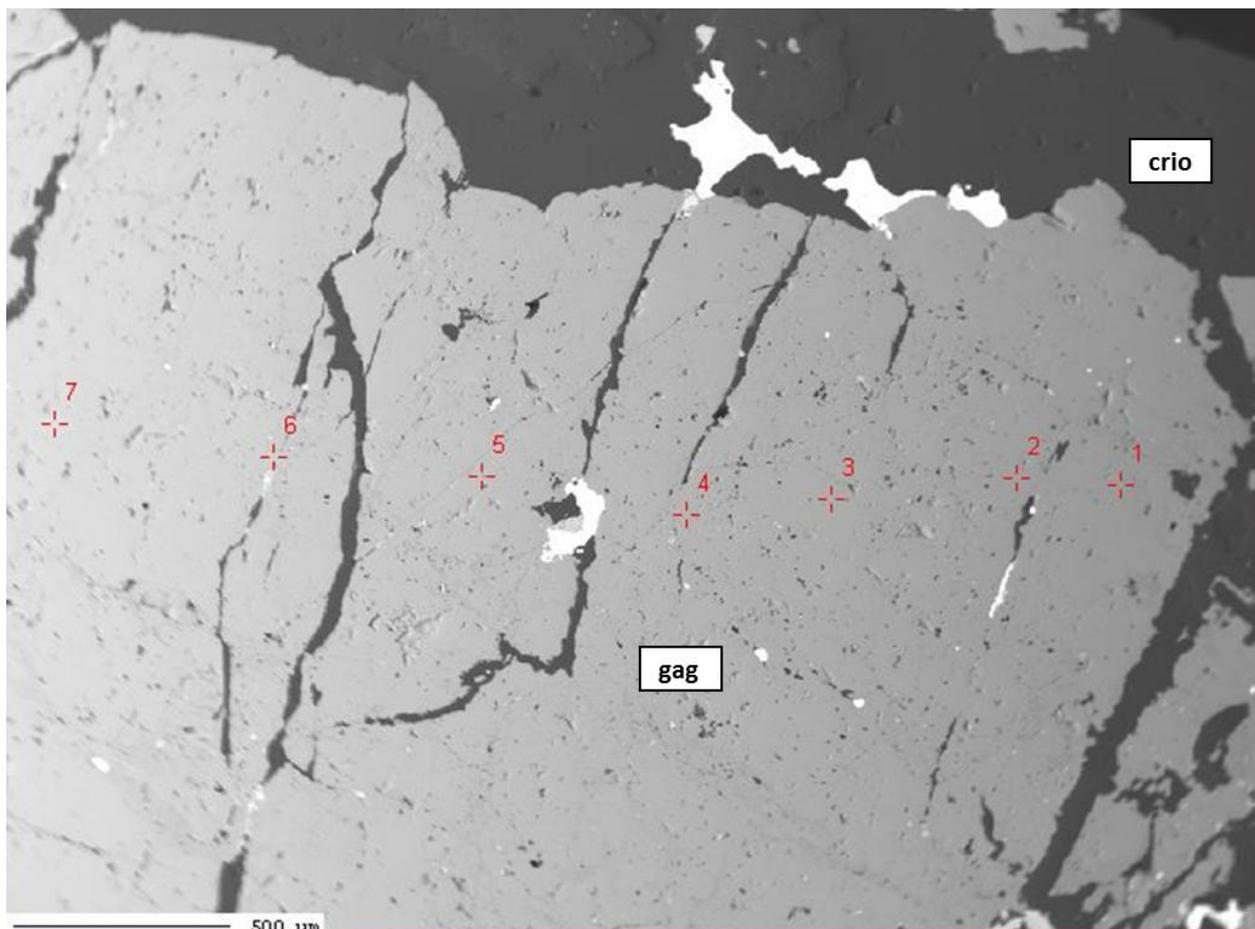


Figura 16 Pontos analisados por microsonda eletrônica em um grão de gagarinita de pegmatito.

Com estas análises foi constatado que a gagarinita é heterogênea ao longo do mesmo cristal (anexo 3). Na tabela 2 são apresentados os resultados dos cálculos da fórmula mineral das análises em diferentes grãos de gagarinita.

Tabela 2 Resultados dos cálculos da fórmula mineral da gagarinita das amostra 3 e 4.

Amostra	F	Na	Al	Ti	Y	Ca	Fe	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Carga
3C1-Gag1	5,7	0,26	0	0	0,95	0,59	0	0,01	0,08	0	0,03	0,02	0,02	0,01	0,1	0,02	0,07	0,01	0,07	0,01	-0,02
3C1-Gag2	6,22	0,3	0	0	0,98	0,59	0	0,01	0,06	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,1	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01	-0,50
3C1-Gag3	6,04	0,29	0	0	0,96	0,61	0	0,01	0,06	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,09	0,01	0,07	0,01	0,06	0,01	-0,40
3C1-Gag4	5,98	0,32	0	0	0,95	0,72	0	0	0,02	0	0,01	0,01	0,02	0,01	0,1	0,02	0,07	0,01	0,06	0,01	-0,40
3C1-Gag5	6,38	0,28	0	0	1,01	0,54	0	0,01	0,06	0	0,03	0,01	0,02	0,01	0,1	0,01	0,07	0,01	0,1	0,01	-0,60
3C1-Gag6	6,21	0,3	0	0	0,98	0,6	0	0,01	0,06	0	0,03	0,02	0,02	0,01	0,1	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01	-0,50
3C1-Gag7	5,97	0,28	0	0,01	0,98	0,56	0	0,01	0,06	0	0,03	0,01	0,02	0,01	0,1	0,01	0,08	0,01	0,09	0,01	-0,20
3C1-Gag8	6,37	0,36	0	0	0,97	0,59	0	0,01	0,07	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,1	0,01	0,07	0,01	0,06	0,01	-0,60
3C1-Gag9	6,3	0,5	0	0	1	0,56	0	0,01	0,06	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,1	0,01	0,08	0,01	0,06	0,01	-0,40
3C1-Gag10	6	0,33	0	0	0,96	0,62	0	0,01	0,07	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,09	0,01	0,07	0,01	0,06	0,01	-0,30
3C1-Gag11	6,14	0,32	0	0	0,93	0,62	0	0,01	0,06	0	0,03	0,02	0,02	0,01	0,1	0,01	0,08	0,01	0,08	0,01	-0,40
3C1-Gag12	6,35	0,34	0	0,01	0,98	0,56	0	0,01	0,07	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,1	0,01	0,07	0,01	0,08	0,01	-0,60
3C1-Gag13	6,19	0,29	0	0	0,96	0,59	0	0	0,06	0	0,03	0,02	0,02	0,01	0,11	0,01	0,07	0,01	0,09	0,01	-0,50
3C1-Gag14	5,9	0,26	0	0	0,98	0,65	0	0	0,03	0	0,02	0,01	0,02	0,01	0,09	0,01	0,08	0,01	0,07	0,01	-0,30
3C1-Gag15	6,12	0,26	0	0	0,93	0,66	0	0,01	0,04	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,1	0,01	0,08	0,01	0,07	0,01	-0,50
3C1-Gag16.1	6,14	0,3	0	0	0,95	0,58	0,01	0,01	0,07	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,11	0,02	0,07	0,01	0,08	0,01	-0,40
3C1-Gag16.2	5,77	0,25	0	0	0,96	0,58	0,03	0,01	0,06	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,1	0,02	0,07	0,01	0,08	0,01	-0,10

3C1-Gag16.3	6,08	0,31	0	0	0,99	0,56	0,01	0	0,06	0	0,03	0,01	0,02	0,01	0,11	0,01	0,08	0,01	0,06	0,01	-0,30
3C1-Gag16.4	5,92	0,27	0	0,01	0,95	0,64	0	0	0,05	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,11	0,01	0,07	0,01	0,06	0,01	-0,30
3C1-Gag16.5	6,41	0,26	0	0	0,96	0,62	0	0,01	0,04	0	0,02	0,02	0,02	0,01	0,11	0,02	0,07	0,01	0,09	0,01	-0,80
3C1-Gag16.6	6,22	0,3	0	0	0,99	0,6	0	0,01	0,05	0	0,03	0,02	0,02	0,01	0,1	0,01	0,08	0,01	0,05	0,01	-0,50
3C1-Gag16.7	6,28	0,34	0	0	0,99	0,54	0	0,01	0,07	0,01	0,03	0,02	0,02	0,01	0,11	0,02	0,08	0,01	0,07	0,01	-0,50
3C1-Gag16.8	5,95	0,27	0	0	1,03	0,52	0	0,01	0,07	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,11	0,02	0,07	0,01	0,08	0,01	-0,20
3C1-Gag16.9	6,02	0,28	0	0,01	0,98	0,55	0	0,01	0,07	0	0,03	0,02	0,02	0,01	0,11	0,02	0,08	0,01	0,08	0,01	-0,30
3C1-Gag16.10	5,93	0,28	0	0	0,99	0,54	0,01	0,01	0,07	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,1	0,01	0,07	0,01	0,09	0,01	-0,20
3C1-Gag16.11	5,91	0,23	0	0	1,03	0,54	0	0,01	0,07	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,11	0,01	0,07	0,01	0,04	0,01	-0,20
3C1-Gag16.12	5,78	0,25	0	0	0,99	0,6	0	0,01	0,06	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,1	0,02	0,07	0,01	0,06	0,01	-0,10
3C1-Gag16.13	5,89	0,23	0	0	0,98	0,6	0	0,01	0,07	0	0,03	0,02	0,03	0,01	0,1	0,01	0,07	0,01	0,05	0,01	-0,30
4ExAGag1.1	6	0,36	0	0	0,95	0,68	0	0	0,04	0	0,02	0,01	0,03	0,01	0,09	0,01	0,06	0,01	0,06	0,01	-0,30
4ExAGag1.2	5,97	0,35	0	0	0,97	0,62	0	0,01	0,07	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,09	0,02	0,07	0,01	0,06	0,01	-0,20
4ExAGag1.3	5,57	0,38	0	0,01	0,93	0,65	0	0,01	0,07	0	0,03	0,01	0,03	0,01	0,09	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01	0,16
4ExAGag1.4	5,8	0,34	0	0	0,92	0,65	0,02	0,01	0,06	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,08	0,01	0,07	0,01	0,08	0,01	-0,10
4ExAGag1.5	5,42	0,35	0	0	0,94	0,71	0	0	0,04	0	0,02	0,01	0,03	0,01	0,08	0,02	0,06	0,01	0,06	0,01	0,23
4ExAGag1.6	5,69	0,36	0	0	0,98	0,64	0	0	0,03	0	0,02	0,01	0,03	0,01	0,09	0,01	0,06	0,01	0,08	0,01	0,04
4ExAGag1.7	5,91	0,34	0	0	0,96	0,68	0	0,01	0,05	0	0,02	0,01	0,03	0,01	0,09	0,01	0,06	0,01	0,05	0,01	-0,30
4ExAGag1.8	6,04	0,39	0	0	0,95	0,64	0	0,01	0,07	0	0,03	0,01	0,03	0,01	0,09	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01	-0,30
4ExAGag1.9	5,38	0,41	0	0	0,95	0,62	0	0,01	0,07	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,09	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01	0,41
4ExAGag1.10	5,95	0,33	0	0	0,96	0,62	0,01	0,01	0,06	0,01	0,03	0,01	0,03	0,01	0,09	0,01	0,07	0,01	0,07	0,01	-0,20
4ExAGag1.11	5,72	0,36	0	0,01	0,96	0,65	0	0,01	0,05	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	0,09	0,01	0,07	0,01	0,06	0,01	0,01
4ExAGag1.12	5,76	0,35	0	0	1,01	0,64	0	0,01	0,04	0	0,02	0,01	0,02	0,01	0,08	0,01	0,06	0,01	0,05	0,01	-0,04
4ExAGag1.13	5,9	0,34	0	0	0,99	0,63	0	0,01	0,05	0	0,02	0,01	0,02	0,01	0,09	0,01	0,06	0,01	0,07	0,01	-0,20
4ExAGag1.14	6,01	0,37	0	0	0,96	0,69	0	0	0,03	0	0,02	0,01	0,02	0,01	0,08	0,02	0,07	0,01	0,06	0,01	-0,30
4-Gag 1	5,85	0,35	0	0	0,97	0,65	0	0	0,03	0	0,03	0,01	0,02	0,01	0,09	0,02	0,07	0,01	0,07	0,01	-0,10
4-Gag 2	5,38	0,14	0,04	0	0,98	0,72	0	0	0,02	0	0,02	0,01	0,02	0,01	0,07	0,01	0,05	0,01	0,03	0	0,05
4-Gag 3	6,18	0,41	0	0	1,06	0,57	0	0	0,04	0	0,03	0,01	0,03	0,01	0,09	0,01	0,06	0,01	0,06	0,01	-0,30
4-Gag 4	5,06	0,14	0	0	1,05	0,6	0	0	0,04	0	0,03	0,01	0,03	0,01	0,08	0,01	0,06	0,01	0,06	0,01	0,48
4-Gag 5	5,08	0,16	0	0	1,04	0,65	0	0	0,04	0	0,03	0,01	0,03	0	0,08	0,01	0,06	0,01	0,04	0,01	0,44
4-Gag 6	5,8	0,42	0	0	1	0,66	0	0	0,03	0	0,02	0,01	0,03	0,01	0,08	0,01	0,06	0,01	0,06	0,01	-0,03

Verifica-se na tabela x que a gagarinita do albita granito é rica em ítrio (gagarinita – (Y)), que contém traços de Al, Fe e Ti.

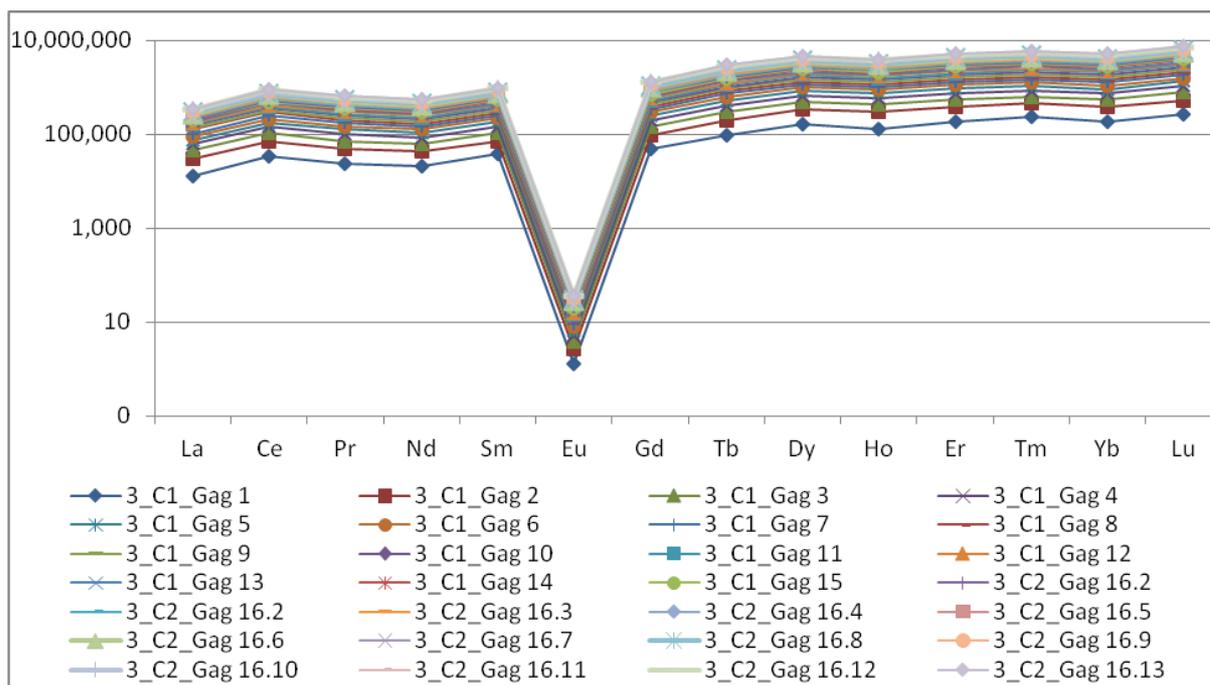


Figura 17 Padrões de distribuição dos ETR de gagarinita normalizados pelo condrito C1 (lâmina 3).

Ao analisar o gráfico da figura anterior, verifica-se que a gagarinita possui maior conteúdo de ETRP, porém, o que se destaca é a anomalia negativa de Eu. Esta anomalia negativa pode significar que o magma era originalmente pobre em Eu ou alguma outra fase enriqueceu nestes elementos. Trabalhos futuros deverão avaliar os conteúdos de ETR em outros minerais, como na albita, por exemplo, para verificar os conteúdos de Eu. Também é possível constatar que os padrões de distribuição dos ETR na gagarinita são muito similares. Quando observamos os resultados das análises em um cristal verifica-se que variam de um ponto ao outro, como foi apresentado na figura 17. Porém, ao comparar os conteúdos médios dos ETR em diferentes amostras é possível concluir que estes teores são similares.

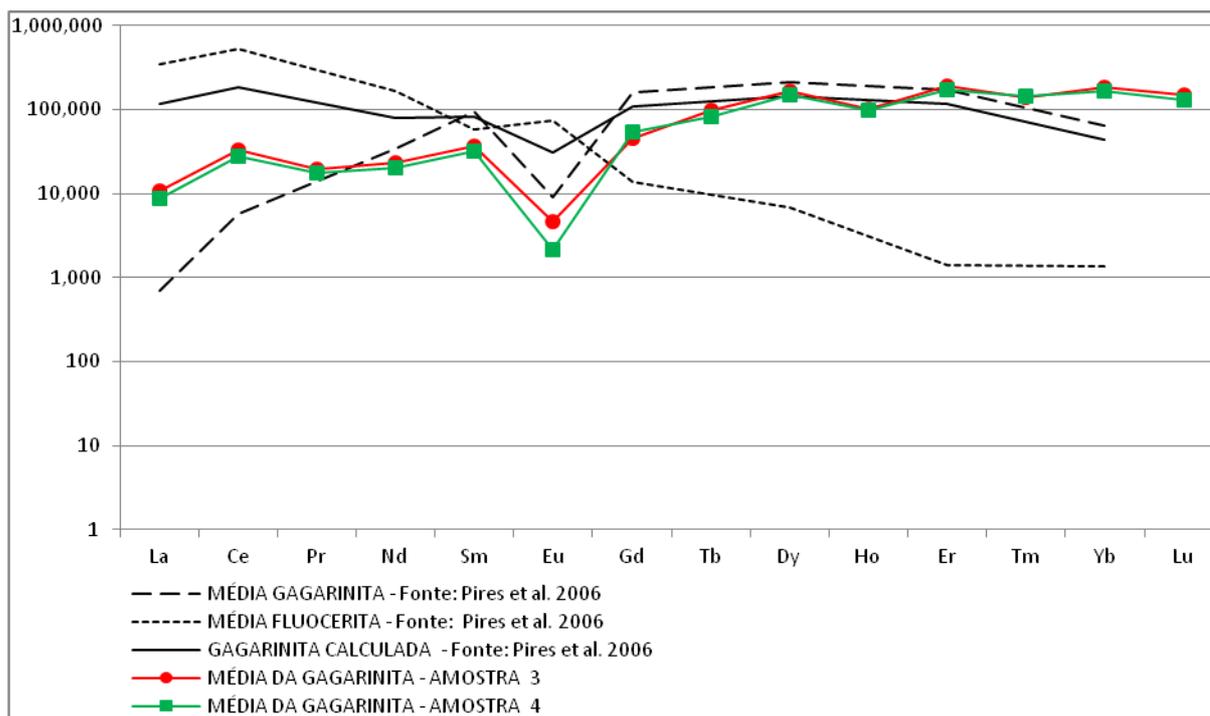


Figura 18 Comparação entre os conteúdos de ETR de cristais de gagarinita dos pegmatitos com os deste mineral na base do bolsão criolítico B (Pires et al. 2006) .

Ao observar os padrões de distribuição dos ETR da gagarinita (Fig.18), é possível verificar que os cristais dos pegmatitos (em verde e vermelho) têm menor conteúdo de ETRL do que de ETRP e possuem pronunciada anomalia negativa de Eu.

Pires et al. (2006) descreveram a existência de gagarinita na base do bolsão criolítico B. Segundo estes autores, esta gagarinita possui exsolução de fluocerita, ou seja, existe um fluoreto de ETRL (fluocerita) exsolvido de um fluoreto de ETRP (gagarinita). Estes autores calcularam qual seria a composição da gagarinita se não tivesse ocorrido exsolução e denominaram como gagarinita calculada. Quando se compara a gagarinita dos pegmatitos, que não possui exsolução, com a média da gagarinita descrita por Pires et al. (2006) verifica-se que a gagarinita da base do bolsão criolítico B possui menor conteúdo de La e Ce, o que certamente é decorrente da exsolução dos ETRL. Porém, quando se compara com a gagarinita calculada verifica-se que esta possui muito maior conteúdo de ETRL e, inclusive de ETRM, do que a gagarinita dos pegmatitos. Isto possibilita aventar a hipótese que na gagarinita inicial (da base do bolsão criolítico B) por ser relativamente mais rica em ETRL propiciou a exsolução destes elementos, enquanto na gagarinita do pegmatito,

por ser mais pobre nestes elementos, não permitiu a exsolução. Em estudos futuros esta hipótese deverá ser mais bem avaliada e, se confirmada, verificar a partir de qual teor existe exsolução.

Em princípio, era de se esperar que nos pegmatitos os teores de ETRL fossem mais altos do que os ETRP, por constituírem uma fácies tardia no granito, mas é importante destacar que a fonte albíta granito Madeira teve significativa contribuição mantélica, que são atestadas pela presença de elevados teores de F e Nb. Por isto, as proporções entre os ETRL e ETRP não são as comumente encontradas em granitos. Como decorrência ocorreu a cristalização de gagarinita e xenotima.

12.8 ANÁLISES DOS PEGMATITOS POR “INDUCTIVELY COUPLED PLASMA” (ICP).

Os elementos maiores, menores e traços, incluindo os ETR e Y, das amostras dos pegmatitos foram analisados por ICP. Os resultados de algumas amostras representativas são apresentados na tabela 3, sendo que a tabela com todos os resultados é apresentada no anexo 4. Observa-se que os totais aparentemente baixos em algumas amostras são decorrentes dos elevados teores de alguns elementos menores, cujos valores podem ultrapassar o limite de detecção.

Tabela 3 Resultados das análises por ICP de amostras dos pegmatitos do albíta granito Madeira

PESO%	PEG01	PEG02	PEG04	PEG06	PEG07	PEG09	PEG10	PEG12	PEG17	PEG18
F	8,03	12	4,07	1,63	3,91	7,19	39,5	44,4	29,2	2,09
S	0,01	0,01	0,23	0,01	0,06	0,47	0,06	0,01	0,52	0,05
SiO ₂	54,49	45,77	63,9	67,9	69,4	63,26	9,48	0,16	25,13	68,1
Al ₂ O ₃	12,74	14,68	10	11	10,7	8,07	21,8	23,9	16,44	7,91
Fe ₂ O ₃	6,72	5,92	3,25	5,72	2,96	3,67	0,08	0,03	1,17	7,72
MnO	0,16	0,14	0,12	0,1	0,09	0,235	0,01	0,01	0,021	0,1
MgO	0,04	0,04	0,02	0,04	0,04	0,04	0,02	0,01	0,05	0,04
CaO	0,05	0,05	0,07	0,05	0,09	0,12	0,13	0,09	0,13	0,19
Na ₂ O	3,06	8,28	2,92	1,69	2,57	4,64	39,1	43,8	28,53	0,79
K ₂ O	7,87	7,53	6,17	5,98	6,51	3,61	0,03	0,01	0,41	4,6
TiO ₂	0,104	0,094	0,03	0,03	0,06	0,046	0,01	0	0,014	0,03
P ₂ O ₅	0,05	0,16	0,31	0,11	0,07	0,13	0,01	0,01	0,35	0,97
LOI	4,74	6,58	2,34	1,88	2,59	3,74	17,1	17,8	13,25	2,56
Total	90,03	89,24	89,1	94,5	95,1	87,56	87,8	85,8	85,49	93

PPM										
Sc	8	9	6	10	7	5	21	22	20	47
Be	354	287	123	136	190	3938	4	1	51	124
V	6	5	5	11	5	5	6	6	5	22
Ba	15	13	20	25	26	8	75	57	117	32
Sr	216	202	202	291	151	136	166	164	197	346
Y	257	1100	2375	1053	538	2102	917	16	2395	8268
Zr	14	17	1472	1117	402	19	11	7	60	697
Cr	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Co	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ni	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Cu	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Zn	3740	4240	2150	1600	2110	10000	820	30	2860	2730
Ga	32	31	31	45	33	15	1	1	5	30
Ge	26	20	14	18	17	15	2	1	11	27
As	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Rb	1000	1000	1000	1000	1000	1000	88	3	1000	1000
Nb	830	1000	1000	1000	1000	366	93	16	78	847
Mo	2	2	2	2	2	5	2	2	2	2
Ag	0,9	0,7	7,7		2,9	1,8	1	0,5	1,2	3
In	6,5	8,6	27,8	12,8	17	19,3	9,4	0,2	73,1	46,2
Sn	298	521	1000	1000	1000	169	137	2	1000	1000
Sb	0,5	0,5	0,8	0,8	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7
Cs	486	377	175	179	182	214	1,7	0,5	18,8	164
Hf	5,2	7,9	239	166	73,2	3,7	1,6	0,2	46,8	132
Ta	50,1	185	275	157	288	21,2	1,9	0,6	1,6	92,2
W	22	28	37	29	30	12	6	7	9	37
Tl	23,3	19,4	19,3	19,8	22,2	9,5	0,2	0,1	0,9	15,4
Pb	259	474	8750	477	3230	268	1000	61	10000	1530
Bi	62,8	11,8	61,8	13,8	296	4,5	2,8	0,4	43,6	25,7
Th	108	116	2000	2000	1070	101	8,7	0,7	673	2000
U	18,1	11,5	62,1	55,7	126	39,3	6,4	0,1	3,6	37,1
Li	10000	10000	5550	5890	6730	8200	94	23	586	5450
La	13,2	38,4	34,9	28,6	52,6	26,5	14,2	0,1	3,1	32,8
Ce	42,4	128	127	123	175	101	54,6	0,1	12,9	138
Pr	4,5	13,7	13,9	13,9	18,4	16,7	9,04	0,05	2,66	25,7
Nd	11,8	36,2	42,4	43,5	45,1	72,5	38,5	0,1	16,9	120
Sm	5,7	21,3	35,3	31,1	18,3	60	26,6	0,1	27,3	129
Eu	0,14	0,64	1,04	0,71	0,34	1,57	0,64	0,05	0,96	3,87
Gd	8,4	34,5	72,9	47,3	22,2	94,2	37,9	0,1	67,3	270
Tb	5,3	23,7	52,2	28,8	13,9	45,4	17,9	0,1	51,1	182
Dy	61,1	292	648	313	155	431	161	0,4	651	1000
Ho	16,9	82,9	190	83,3	43	102	36,3	0,1	194	626
Er	71,8	387	845	352	188	394	123	0,3	882	1000
Tm	15,7	85,5	186	74,1	39,7	75,3	20,8	0,1	192	596
Yb	108	618	1000	505	277	501	117	1,1	1000	1000
Lu	14,5	84,2	180	67,4	37,8	64,9	13,6	0,24	193	568

Observa-se que o Mg, Mn e Ca são elementos maiores em rochas graníticas, mas nos pegmatitos do albita granito Madeira ocorrem com teores <1%. Por isso, apesar de serem elementos menores nos pegmatitos, são aqui analisados

junto com os elementos maiores. Além disto, algumas amostras dos pegmatitos possuem teores de Pb, Y, Li e Zr maiores do que 10.000ppm (>1%) e poderiam ser considerados elementos maiores, mas serão aqui considerados junto com os elementos menores. Observa-se que o F é um caso especial, pois os conteúdos deste elemento são sempre com valores percentuais em todas as amostras, chegando a 44,4% (PEG 12) e, por isto, será tratado junto com os elementos maiores.

ANÁLISE DOS ELEMENTOS MAIORES

Os pegmatitos, PEG12, PEG15 E PEG16, são ricos em criolita, têm alta perda ao fogo (>17%) devido à presença de criolita maciça.

As amostras PEG05, PEG10 e PEG11 contêm baixos valores em Si ($\cong 0,02$) e K ($\cong 0,01$) e altos valores de Al (>23%), Na (>43%) e F(>40%), decorrentes da presença de criolita, existente em menor quantidade que as anteriores. Estas amostras têm maiores teores de Si, que são devidos à presença de quartzo.

A amostra PEG08 possui altos teores de F(>35%), Ca (>5%) e Na(>22%) são decorrentes da presença significativa da gagarinita. A presença de criolita faz com que os valores de Na, Al e F também sejam elevados.

As amostras PEG19 e PEG21 são ricas em xenotima, que pode ser constatado pelos teores relativamente elevados de P e Y.

As amostras PEG01, PEG02, PEG04, PEG06, PEG07, PEG09, PEG14, PEG14A e PEG18 possuem altos teores de Si, Fe e K. O Si é devido principalmente ao quartzo, enquanto que o microclínio além de contribuir com os teores de Si, também é responsável, junto com a polilitionita pelo K relativamente alto. A presença de polilitionita também contribui com os altos teores de Li, que será avaliado com as análises dos elementos menores. Os elevados teores de ferro nestas amostras são decorrentes da presença de hematita.

A presença de galena e esfalerita, principalmente nas amostras PEG 03 e PEG 20 faz com que os teores de Pb e Zn sejam altos.

Os teores dos elementos nas demais amostras PEG confirmam os dados anteriores.

ANÁLISE DOS ELEMENTOS MENORES E TRAÇO

Relativamente a estes elementos, aqui só serão avaliados aqueles que apresentarem valores que auxiliem no entendimento das paragêneses formadas ou nos teores modais dos minerais de minério do albita granito.

Verifica-se que os pegmatitos possuem altos conteúdos de Sn, Nb, Pb, Zn, Be, Zr, Li, Rb U e Th. O conteúdo de Sn é decorrente da presença de cassiterita, que é o principal mineral de minério em Pitinga. As concentrações em Nb são decorrentes da presença de pirocloro e columbita e, conforme esperado, estão correlacionadas positivamente com os teores de Ta. Os teores de Pb são decorrentes da presença de galena, enquanto que os de Zn a existência de esfalerita. Observa-se que também ocorre Zn na genthelvita, especialmente na PEG 09, com cristais que chegam a 3,0cm. Nesta amostra também ocorre os altos teores de Be devido à presença deste mineral. Os pegmatitos têm elevados teores modais de zircão, que refletem nos altos teores de Zr e Hf. O Li está presente na polilitionita e seus teores em muitas análises ultrapassam o limite de detecção. O Li junto com o Na, K, Rb e Cs (Grupo 1 da tabela periódica) são importantes constituintes do albita granito e seus elevados teores deverão ser importante para interpretações sobre a gênese do albita granito e, por isto, devem ser mais bem avaliados em trabalhos futuros. Os teores extremamente elevados de U e Th são devidos, respectivamente, à existência de Pirocloro (U-Pb-Pirocloro) e torita. Observa-se que, devido a isto, a Mineração Taboca têm tido especial atenção ao beneficiar a cassiterita e o pirocloro.

ANÁLISE DOS ELEMENTOS TERRAS RARAS E ÍTRIO

As amostras dos pegmatitos analisados (Fig.19) têm forte enriquecimento em ETR, o que resulta da marcante presença de gagarinita e de xenotima. Observando o padrão de distribuição é possível verificar que os conteúdos de ETRT são muito variáveis, sendo comum a anomalia positiva de Sm e negativa de Eu. Anomalia negativa de Eu é comumente considerada em função do magma ser empobrecido neste elemento ou o Eu pode ter concentrado em outra porção mais precoce do granito. Destaca-se que as demais amostras do granito Madeira publicadas em outros trabalhos (p. ex. Costi, 2000; Bastos Neto *et al.* 2009) sempre

apresentam forte anomalia negativa deste elemento, o que indica que a primeira hipótese é a mais provável, ou seja, provavelmente o magma formador do granito Madeira já era relativamente pobre em Eu. O padrão de distribuição dos ETR evidencia a dispersão acentuada dos resultados devido à grande variabilidade mineralógica e aos diferentes teores de gagarinita e xenotima, especialmente deste último, ou seja, as amostras com menor quantidade de xenotima e/ou gagarinita têm, como consequência, teores mais baixos de ETR. Outra característica a ser destacada é o fato das amostras com altos teores de ETR passarem a apresentar um padrão em *zig-zag*, que se deve, provavelmente, a existência de efeito *tetrad*, o que deve ser mais bem estudado futuramente. O efeito *tetrad* é descrito na literatura como anomalias que os ETRL ou ETRP apresentam quando complexados por determinados elementos como o F, fazendo com que os padrões de distribuição dos ETR passem a ser similares a letra M ou W, ou seja, alguns elementos passam a ter maior estabilidade do que seus vizinhos e o padrão de distribuição não é linear, conforme pode ser verificado na amostra PEG 08.

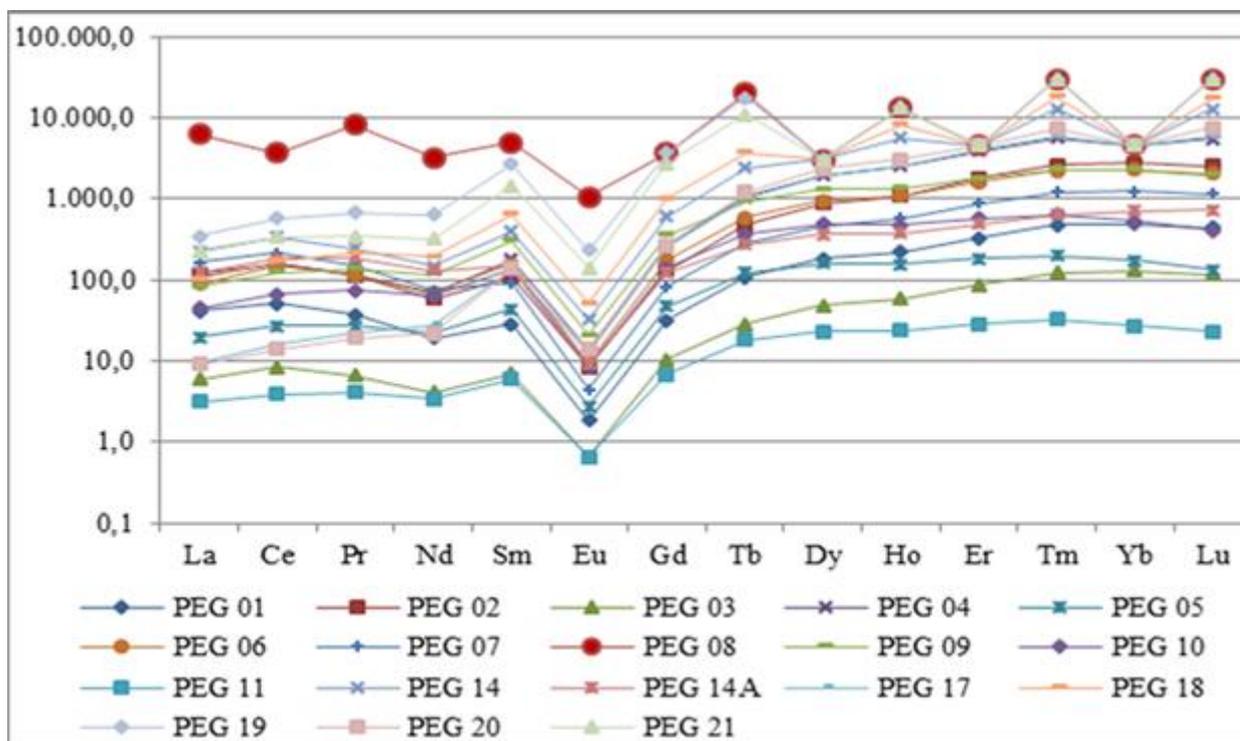


Figura 19 Gráfico dos Elementos Terras Raras de todas as amostras de pegmatitos; normalizados pelo condrito C1 de Anders e Grevesse (1989).

A fim de conhecer melhor as relações entre os elementos que constituem os pegmatitos, foi realizado um estudo por correlação estatística utilizando o programa

Excel. A seguir são apresentadas as correlações obtidas e a relação das mesmas com as paragéneses das amostras.

RESULTADOS DAS CORRELAÇÕES ESTATÍSTICAS

- F, Al, Na e PF (LOI) (Correlação > 0,90). Esta associação se deve a existência de criolita nas amostras analisadas;

-Ca com ETRL+ETRM (La ao Tb) (Correlação 0,87). Certamente se deve a existência de gagarinita em algumas amostras de pegmatito.

- P, Y e ETRP (>0,8). Esta associação deve estar relacionada à presença de xenotima.

- ETRP com W (0,88). Esta relação deve ser averiguada em trabalhos futuros e provavelmente tem relação com a xenotima.

- Be e Zn (Correlação 0,88). Relacionados à presença de esfalerita e genthelvita.

- Zr e Hf (Correlação 0,95). Certamente a associação é devida à presença de zircão, porém a presença de Sb deve ser mais bem investigada;

- Sn e Th (Correlação 0,86). Revela a associação da cassiterita com a torita na mesma paragénese. A inexistência da correlação do Sn com o Fe e deste com o Th é deve ser devida ao fato dos cristais de torita estarem significativamente alterados e liberaram hematita.

13 DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O albita granito Madeira é uma rocha com composição muito especial, que também está expressa nos pegmatitos presentes. A caracterização destes pegmatitos, especialmente da gagarinita e xenotima, possibilitaram chegar a várias conclusões, que são sumarizadas a seguir.

Os pegmatitos

- são muito heterogêneos e sua distribuição espacial ainda é pouco conhecida;

- são constituídos pelos seguintes minerais: quartzo, albita, microclínio, criolita, polilitionita, xenotima, gagarinita, galena, esfalerita, hematita, torita, zircão e genthelvita;

- os pegmatitos se formaram tardiamente em uma matriz quartzo feldspática fina cristalizando inicialmente xenotima, gagarinita, torita e cassiterita. Em um segundo momento ocorreu a gênese de grande quantidade de polilitionita, que foi sucedida pela cristalização de galena e esfalerita. Grandes cristais de quartzo e genthelvita sucederam estes sulfetos e finalmente todos estes minerais foram afetados por um processo de criolitização tardio que corroeu grande parte dos grãos destes minerais e alterou a torita liberando hematita nas clivagens da polilitionita;

- possuem teores médios (peso%) de ETR: 0,7 de ETRL e 2,4 de ETRP e, por isso, podem constituir um importante minério especialmente de ETRP;

- possuem cristais centimétricos, inclusive de gagarinita e xenotima;

- os valores modais de gagarinita e xenotima variam muito nas diferentes amostras, mas, apesar disto, os padrões de distribuição dos ETR são mantidos;

- nas análises de rocha total por ICP verifica-se significativa correlação positiva (>0,90) do Ca com os ETRL, devida à presença de gagarinita, e dos ETR com o P (>0,70) e com o Y (0,72), decorrentes da presença de xenotima.

Os minerais de ETR

A gagarinita e a xenotima, embora tenham a cor rosada, são facilmente diferenciáveis nas análises macro ou microscópicas porque os cristais de xenotima têm forma tabular e são subédricos, enquanto os de gagarinita são anédricos.

A xenotima e a gagarinita pertencem à mesma paragênese e cristalizam simultaneamente, sendo que, em alguns casos, a gagarinita inicia a cristalização um

pouco antes e aparece parcialmente inclusa na xenotima. Os perfis composicionais realizados ao MEV possibilitam registrar a passagem de um cristal ao outro e confirmar o que havia sido observado nas análises por microscopia óptica, de que o contato entre estes minerais é abrupto. Além disto, se verifica que os conteúdos de ETR são praticamente similares nestes dois minerais. A cristalização simultânea de gagarinita e xenotima deve ser mais bem estudada futuramente para entender porque se formou um fluoreto de terras raras associado com um fosfato de Y muito rico nestes elementos. Devido ao fato destes minerais também conterem F, que é um elemento muito eletronegativo e que existe em grande quantidade no albita granito, chegando a formar fases próprias como a criolita e a fluorita, certamente este elemento tem papel fundamental na complexação dos ETR.

Com base nas análises por microsonda eletrônica foram calculadas as fórmulas estruturais da xenotima e da gagarinita, que são apresentadas a seguir.

A fórmula mineral de uma análise representativa de xenotima:



A fórmula mineral de uma análise representativa de gagarinita:



A presença da xenotima é bem destacada nas correlações estatísticas entre ETR com o P e com o Y. Correlações significativas também ocorrem em amostras com gagarinita (ETRL com Ca), apesar de este mineral ocorrer em quantidades modais muito menores do que a xenotima.

Observa-se que os grãos de gagarinita têm composições heterogêneas e que variam nas diferentes amostras dos pegmatitos, ou até mesmo de um cristal ao outro de uma mesma amostra. Isto deve ser mais bem investigado em trabalhos futuros, principalmente devido ao fato dos conteúdos de ETR deste mineral apresentarem sempre o mesmo padrão de distribuição.

A fim de caracterizar melhor a xenotima e a gagarinita dos pegmatitos, foram determinados seus parâmetros cristalográficos. Esta comparação possibilitou verificar que a gagarinita dos pegmatitos têm o parâmetro cristalográfico *a* maior do que a gagarinita descrita por Pires et al. (2006) e isto foi aqui interpretado como decorrente do fato das gagarinita dos pegmatitos conter maior teor de ETRL. Todos os parâmetros cristalográficos da xenotima são inferiores, quando comparados com os da literatura.

As variações nos conteúdos de ETR nos cristais de gagarinita e xenotima são refletidas nos teores de ETR dos diferentes corpos pegmatíticos. Portanto, para avaliar o potencial econômico destes pegmatitos é necessário estudar mais detalhadamente a complexação dos ETR pelo F nas diferentes porções do albita granito bem como determinar o volume e distribuição destes corpos no AGN.

REFERÊNCIAS

ÅMLI, R. 1975 Mineralogy and rare earth geochemistry of apatite and xenotime from the Glosereia granite pegmatite, Froland, Southern Norway. **American Mineralogist**, v. 60, p. 607-620.

ANDREHS, G.; HEINRICH, W. Experimental determination of REE distributions between monazite and xenotime: potential for temperature-calibrated geochronology. **Chemical Geology**, v. 149, p. 83-96, 1998.

ATENCIO, D.; BASTOS NETO, A. C.; PEREIRA, V. P.; FERRON J.M.T.M.; HOSHIMO, M.; MORIYAMA, T.; WATANABE, Y.; MIYAWAKI, R.; COUTINHO, J.; ANDRADE, M. B.; DOMANIK, K.; CHUKANOV, N. V.; MOMMA, K.; HIRANO, H.; TSUNEMATSU, M. Waimirite-(Y), orthorhombic YF₃, a new mineral from the Pitinga mine, Presidente Figueiredo, Amazonas, Brazil and from Jabal Tawlah, Saudi Arabia: description and crystal structure. **Mineralogical Magazine** (Print), v. 79, p. 767-780, 2015.

BASTOS NETO A.C.; FERRON, JOSÉ T.M.M.; CHAUVET, ALAIN; CHEMALE JR, FARID; DE LIMA, EVANDRO F.; BARBANSON, LUC; COSTA, CLOVIS F.M. U-Pb dating of the Madeira Suite and structural control of the albite-enriched granite at Pitinga (Amazonia, Brazil): Evolution of the A-type magmatism and implications for the genesis of the Madeira Sn-Ta-Nb (REE, cryolite) world-class deposit. **Precambrian Research**, v. 243, p. 181-196, 2014.

BASTOS NETO, A. C.; FERRON, J. M. T. M.; HOFF, R.; ROLIM, S. A.; MINUZZI, O. R. R.; UMANN, L. V.; PRADO, M. 2003. Estudos e projetos direcionados a depósitos minerais e distritos mineiros: "Caracterização de depósitos minerais em distritos mineiros da Amazônia", subprojeto: Pitinga – Criolita. Porto Alegre: UFRGS, 30 p. (Relatório da Etapa de Integração de dados/Mapa Geológico Regional da Área de Pitinga – 1:100.000).

BASTOS NETO, A. C.; PEREIRA, V. P.; RONCHI, L. H.; LIMA, E. F.; FRANTZ. The world-class Sn, Nb, Ta, F, (Y, RE, Li) deposit and the massive cryolite associated with the albite-enriched facies of the Madeira A-type granite, Pitinga Mining District, Amazonas State, Brazil. **The Canadian Mineralogist**, v. 47, p.1329-1357, 2009.

BASTOS NETO, A. C.; PEREIRA, V. P.; PIRES, A. C.; BARBANSON, L.; CHAUVET, A. Fluorine-rich xenotime from the world-class Madeira Nb-Ta-Sn deposit associated with the albite-enriched granite at Pitinga, Amazonia, Brazil. **The Canadian Mineralogist**, v. 50, p.1453-1466, 2012.

BEA, F. 1996. Residence of REE, Y, Th and U in granites and crustal protoliths; Implications for the chemistry of crustal melts. **Journal of Petrology**, 37(3): 521-552.

CAMERON, E.N. *et al.* 1949. Internal structure of granitic pegmatites. In: **Economic Geology**, Monograph 2, 115p.

CASILLAS, R; NAGY, G.; PANTO, G; BRANDLE, J.; FORIZS, I. 1995. Occurrence of Th, U, Y, Zr and REE- bearing accessory minerals in late Variscan granitic rocks from the Sierra de Guadarrama (Spain). . **European Journal of Mineralogy**, v.7: 989-1006.

CASTOR, S. B.; HEDRICK, J. B. Rare earth elements. **Industrial Minerals and Rocks**, v. p. 769-792, 2006.

ČERNÝ P. 1982a. Anatomy and classification of granitic pegmatites. In: **Granitic Pegmatites in Science and Industry**. Winnipeg: MAC Short Course Handbook. v.8, p.1-39.

ČERNÝ P. 1990. Distribution affiliation and derivation of rare-element Granitic pegmatites in the Canadian Shield. In: **Geologische Rundschau**.v.79, p.183-226.

COCHERIE, A.; LEGENDRE, O. Potential minerals for determining U–Th–Pb chemical age using electron microprobe. **Lithos**, v. 93, p. 288-309, 2007.

COSTI, H.T. 2000. Petrologia de granitos alcalinos com alto flúor mineralizados em metais raros: o exemplo do Albita granito da Mina Pitinga, Amazonas, Brasil. Ph. D. Thesis, Universidade Federal do Pará, Brasil.

DEER, W. A.; HOWIE, R. A.; ZUSSMAN, J. **Minerais constituintes das rochas - uma introdução**. London: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966. 559p.

DEMARTIN, F.; PILATI, T.; DIELLA, V. The chemical composition of xenotime from fissures and pegmatites in Alps. **Canadian Mineralogist**, v. 29, p. 69-75, 1991.

DIB A, ROUX M T, ALÉONARD S (1987) Composés $Pb_{2x}K_{3/2-x}Ln_{3/2-x}F_6$ de type gargarinite. Structure d'un cristal mâclé de $KPbLaF_6$. Relations structurales avec les composés de types $NaNdF_4$ et $KCeF_4$, **Journal of Solid State Chemistry**, 66, 47-55.

FERRON, J. T. M. M. (2006): Geologia Regional, geoquímica e geocronologia Pb-Pb de rochas graníticas e vulcânicas paleoproterozóicas da província Pitinga, cráton Amazônico. *Tese de Doutorado*, Curso de Pós Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 331p.

FERRON J.M.T.M.; BASTOS NETO A.C.; LIMA E.F.; NARDI L.V.S.; COSTI H.T.; PIEROSAN R.; PRADO M. Petrologia, geoquímica e geocronologia de rochas vulcânicas e graníticas paleoproterozóicas (1,89 a 1,88 Ga) da província de Pitinga, cráton Amazônico, Brasil. In: 44º Congresso Brasileiro de Geologia, 2008, Curitiba. **Anais**, 2008. v. 1. p. 531-531.

FERSMAN, A.E. 1951. Les pegmatites, leur importance scientifique et pratique. In: **USSR Academy of Sciences**, 1931. Traduzido para o francês por R. du Trien de Terdonck e J. Thoureau. Universidade de Louvain, Bélgica, v.3, 675p.

FÖRSTER, H. J. The chemical composition of REE-Y-Th-U accessory minerals in peraluminous granites of Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany, Part I: The monazite-(Ce)-brabantite solid solution series. **American Mineralogist**, v. 83, n. 3/4, p. 259-272, 1997.

FÖRSTER, H. J. The chemical composition of RER-Y-Th-U-rich accessory minerals in peraluminous granites of Erzgebirge-Fichtelgebirge region, Germany. Part II: Xenotime. **American Mineralogist**, v. 83, p. 1302-1315, 1998.

FÖRSTER, H. J. & RHEDE, D. Composition of monazite and xenotime from the Fichtelgebirge granites-An electron microprobe study. *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, Beihefte Zum. **European Journal of Mineralogy***, v. 7, p. 68, 1995.

FUCK, R.A., SÁ, E.F.J., PIMENTEL, M.M., DARDENNE, M.A. & SOARES, A.C.P. 1993. As faixas de dobramentos marginais do Cráton do São Francisco: síntese do conhecimento. In: DOMINGUEZ, J.M.L. & MISI, A. (eds). O Cráton do São Francisco. Salvador, 161-186

GRATZ, R.; HEINRICH, W. Monazite-xenotime thermobarometry: experimental calibration of the miscibility gap in the binary system $CePO_4 - YPO_4$. **American Mineralogist**, v. 82, p. 772-780, 1997.

HEINRICH, W.; ANDREHS, G.; FRANZ, G. Monazite-xenotime miscibility gap thermometer. 1. An empirical calibration. **Journal of Metamorphic Geology**, v. 15, p. 3-16, 1997.

HUGHES, J. M.; DREXLER, J. W. Refinement of the structure of gargarinite-(Y), $Na_x (Ca_x REE_{2-x}) F_6$. **The Canadian Mineralogist**, v. 32, n. 3, p. 563-565, 1994.

HUTTON, C. O. Determination of xenotime. **American Mineralogist**, v. 32, p. 141-145, 1947.

MASON, B.H. 1971. Princípios de Geoquímica. Tradução de Rui Ribeiro Franco. São Paulo: USP. p.403.

JAMBOR, J., ROBERTS, A. C., OWENS, D & GRICE, J. Zajacite-(Ce), a new rare-earth fluoride from the Strange Lake deposit Quebec-Labrador. **The Canadian Mineralogist**, v. 34, p. 1299-1312, 1996.

KABALOV, YU. K.; SOKOLOVA, E.V.; GRIGOR'EV, A.P. Determination of crystal structure of new mineral $\text{Na}_{1,23}\text{Y}_{1,28}\text{TR}_{0,24}\text{F}_6$ by the Rietveld method. **Doklady Akademii Nauk**, (em russo), v. 330, n. 6, p. 713-715, 1993.

KAMENETSKAYA, F. O. V.; KAMENETSKII, F. V. A. Crystal structure of gagarinite from precision X-ray data: structural changes in the NaCaTRF6-NaTRF series. **Kristallographie**, v.39, p. 1009-1014, 1994.

KOSITCIN, N.; MCNAUGHTON, N. J.; GRIFFIN, B. J.; FLETCHER, I.; GROVES, D. I.; RASMUSSEN, B. Textural and geochemical discrimination between xenotime of different origin in the Archaean Witwatersrand Basin, South Africa. **Geochemica et Cosmochimica Acta**, v. 67, n. 4, p. 709-731, 2003.

HARTMANN, L. A.; DELGADO, I. M. 2001. Cratons and orogenic belts of the Brazilian Shield and their contained gold deposits. **Mineralium Deposita**, v. 36, p. 207-217.

HORBE M.A., HORBE A.C., TEIXEIRA J.T., COSTI H.T. 1985. Granito Madeira: Petrologia, Petroquímica e Mineralizações. In: SBG, Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, **Anais**, p. 284-320.

LANDES, K. K. 1933. Origin and classification of pegmatites. In: **American Mineralogist**. v.18, n.2, p.33-56, 95-103

LENHARO, S. L. R. 1998. Evolução Magmática e Modelo Metalogenético dos Granitos Mineralizados da Região de Pitinga, Amazonas, Brasil. 290p. Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, Curso de Pós-graduação, Universidade de São Paulo, São Paulo.

LEAST-SQUARES REFINEMENT OF CRYSTALLOGRAPHIC LATTICE PARAMETERS (LCLSQ) - Versão 8.5 1993. Direitos Autorais de BURNHAM, C.W., Department of Earth & Planetary Sciences, Harvard University (Cambridge).

LOUREIRO, F. E. L. Terras-Raras: Tipos de Depósitos, Recursos Identificados e Alvos Prospectivos no Brasil. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE TERRAS RARAS, 1º, 2011, Rio de Janeiro. Bases para o desenvolvimento de Terras raras no Brasil. Rio de Janeiro: CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL, 2011, 33 p.

MASAU, M.; ČERNÝ, P; CHAPMAN, R. Dysprosian xenotime-(Y) from the Annie Claim #3 granitic pegmatite, southeastern Manitoba, Canada: evidence of the tetrad effect? **The Canadian Mineralogist**, v. 38, p. 899-905, 2000.

MILLER, C. F.; HANCHAR, J. M.; WOODEN, J. L.; BENNETT, V. C.; HARRISON, T. M.; WARK, D. A.; FOSTER, D. A. Source region of a granite batholith: evidence from lower crustal xenoliths and inherited accessory minerals. **Transactions of the Royal Society of Edinburgh. Earth Sciences**, v. 83, p. 49–62, 1992.

MINFILE, Versão 5 1998. Direitos autorais de AFIFI, A.M. e ESSENCE, E. J., Department of Geological Sciences, University of Michigan.

MINUZZI O.R.R.; ROCHA F.F.N.; BASTOS NETO A.C.; RONCHI L.H.; FERRON J.M.T.M. Estudo de inclusões fluidas no depósito criolítico maciço do granito Madeira na mina Pitinga, Amazonas, Brasil: resultados preliminares. In: VII Simpósio de Geologia da Amazônia, 2001, Belém. Boletim de Resumos, 2001.

MINUZZI O.R.R., BASTOS NETO A.C., PEREIRA V.P. NUNES L. A columbitização do pirocloro da subfácies albíta granito de núcleo do Granito Madeira, Pitinga-AM: relações com a gênese da mineralização criolítica. **Revista Brasileira de Geociências**, 2005.

NI, Y.; HUGUES, J. M.; MARIANO, A. N. Crystal chemistry of monazite and xenotime structures. **American Mineralogist**, v. 80, p. 21-26, 1995.

PETERSEN, O.V. AND GAULT, R.A. Xenotime from the Narssârssuk pegmatite, south Greenland. **Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte**, v. 6, p. 259–264, 1993.

PIRES A. C.; BASTOS NETO, A.C.; PEREURA, V.P.; BOTELHO, N.F.; MINUZZI, O.R.R. Gagarinita-(Y) com polimorfo de fluocerita: provável caso de formação de um novo mineral por exsolução de ETRL a partir de fluoreto de ETRP (Mina de Pitinga – AM). **Revista Brasileira de Geociências**, 36, n. 1, p. 155-164. 2006.

POINTER, C. M.; ASHWORTH, J.R., AND IXER, R.A. The zircon-thorite mineral group in metasomatized granite, Ririwai, Nigeria 1. Geochemistry and metastable solid solution of thorite and coffinite. **Mineralogy and Petrology**, v. 38, p. 245–262, 1988.

PROKOF-YEV, V.; Y. RYABENKO, S.V. Conditions of formation of gagarinite, as shown by the study of fluid inclusions. **Transactions (Doklady) of the U.S.S.R. Academy of Sciences: Earth Science Sections**, v. 300, p. 122-125, 1988.

PYATENKO, YU. A.; VORONKOV, A. A. The formula of gagarinite. **The Journal of Structural Chemistry**, v. 3, n. 6, p. 696-697, 1962.

PYLE, J. M. & SPEAR, F. S. An empirical garnet (YAG) \pm xenotime thermometer. **Contributions to Mineralogy and Petrology**, v. 138, p. 51-58, 2000.

RHEDE, D.; WENDT, I.; FÖRSTER, H.J. A three-dimensional method for calculating independent chemical U/Pb- and Th/Pb-ages of accessory minerals. **Chemical Geology**, v. 130, p. 247-253, 1996.

ROCIO, M. A. R.; SILVA, M. M. DA; CARVALHO, P. S. L. DE; CARDOSO, ROCHA, J. G. DA (2012). Terras-raras: situação atual e perspectivas. **BNDES Setorial**, n.35, p.369-420, 2012.

RUDENKO, S.A. *et al.* 1975. Conditions of formation and controls of distribution of muscovite objects of the North-Baikal muscovite province, and some general problem of pegmatite consolidation. In: **Muscovite Pegmatites of the URSS**. Leningrado: Nauka. p.174-182.

SANTOS, J.O.S., HARTMANN, L.A., GAUDETTE, H.E., GROVES, D.I., MCNAUGHTON, N.J., FLETCHER, I. R. (2000). A New Understanding of the Provinces of the Amazon Craton Based on Integration of Field Mapping and U-Pb and Sm-Nd Geochronology. **Gond. Res.** 3(4), 453-488.

STEPANOV, A. V.; SEVEROV, E. A. Gagarinite, a new rare-earth mineral. **Doklady Earth Science**, v. 141, p. 1290-1293, 1961.

SUZUKI, K. AND ADACHI, M. Precambrian provenance and Silurian metamorphism of the Tsubonosawa paragneiss in the South Kitakami, terrane, Northeast Japan, revealed by the chemical Th-U-total Pb isochron ages of monazite, zircon, and xenotime. **Geochemical Journal**, v. 25, p. 357–376, 1991.

TASSINARI, C. C. G.; MACAMBIRA, M. J. 1999. Geochronological Provinces of the Amazonian Craton. **Episodes**, v. 22, n. 3, p. 174-182.

TEIXEIRA, J. T.; COSTI, H. T.; MINUZZI, O. R. R.; SOARES, E. A. A. Depósitos Primários de Criolita, Cassiterita, Xenotima e Columbita em Apogranito - Mina de Pitinga (AM). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 37. 1992. São Paulo, **Anais**. São Paulo: SBG, 1992. p. 212-213 Thorpe *et al.* (1990);

TOREM, M.L. e SCORZELLI, I.B. Influência do pré-tratamento com HF na flotabilidade de xenotima e zirconita. In: **Anais do XVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Hidrometalurgia**, Rio de Janeiro 3-6 set., vol.I, p.295-307, 1995.

ÜEBEL, P. J. 1977. Internal structure of pegmatites, its origin and nomenclature. In: **Neues Jahrbuch für Mineralogie - Abhandlungen**. v.31, p.318-332

VIEIRA, E. V; LINS, F. A. F. Concentração de minérios de terras-raras: uma revisão– Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997. 53p. - (Série Tecnologia Mineral, 73).

VORONKOV, A.A.; SHUMYATSKAYA, N.G.; PYATENKO, YU. A. The crystal structure of gagarinite. **Zhurnal Strukturnoi Khimii**.(em russo), v. 3, p. 691-696, 1962.

WARD, C. D.; MCARTHUR, J. M.; WALSH, J. N. Rare earth element behavior during evolution and alteration of the Dartmoor granite, SW England. **Journal of Petrology**, v. 33, p. 785-815, 1992.

WARK, D. A. & MILLER, C. F. Accessory mineral behavior during differentiation of a granite suite: monazite, xenotime and zircon in the Sweetwater Wash pluton, southeastern California, U.S.A. **Chemical Geology**., v. 110, p. 49-67. 1993.

ANEXOS

ANEXO 1 Descrições das lâminas petrográficas

PEG-01

Na maior parte da lâmina ocorre polilitionita, que varia de 0,2mm a 5,0mm, com pleocroísmo verde claro. Alguns grãos apresentam faces retas, os outros são anédricos, em 80% dos grãos têm inclusões de albita, microclínio e/ou criolita. Presença de deformação em muitos cristais de polilitionita. Hematita presente em algumas clivagens. Ocorrem manchas claras compostas por: quartzo anédrico, predominantemente com bordas irregulares, mas em alguns pontos apresenta contatos retos com a polilitionita; microclínio anédrico, com macla característica, associado com albita e quartzo. Albita anédrica, muito corroída, associada com microclínio e criolita, formando grande quantidade de inclusões na polilitionita. Criolita anédrica, incolor, ocupando espaços deixados por feldspatos alterados. Também aparece inclusa em polilitionita.

PEG-02

Polilitionita abrangendo 60% da lâmina, anédrica, por vezes encurvada, variando de 1,5mm a 8,0mm. Criolita anédrica com 1,8cm, com maclas, podendo ter inclusões anédricas de albita (0,8cm) esparsas no grão. Distribuem-se também ao longo de fraturas e nos contatos entre polilitionita e quartzo. Quartzo anédrico, muito fraturado, com bordas irregulares e com criolita preenchendo as fraturas. Xenotima, prismática, fraturada, alterada, variando de 3mm a 8mm. Xenotima, também parcialmente incluída na polilitionita e/ou na criolita. O maior grão é cortado por uma fratura, que corta também os grãos de polilitionita ao redor e está preenchida por material hematita.

PEG-03

Minerais muito alterados, nenhuma forma de grão preservada. Matriz microcristalina quartzo-feldspática incluída em criolita, com opacos (óxido de Fe) acompanhando a distribuição da criolita. Quartzo em cristais maiores, muito fraturados, formando massas que incluem partes da matriz. Esses cristais de quartzo têm bordas muito irregulares, corroídas presença de criolita em suas fraturas. Ocorrem também, incluídos na criolita, grãos de xenotima prismáticos, incolores, com clivagem pobre, com alta birrefringência, uniaxiais positivos. Como acessórios ocorrem cristais com menos de 0,1mm de cassiterita, hematita e galena.

PEG-04

Grãos de quartzo variando de 0,8mm a 4,8mm, anédricos e fraturados. Fenocristais de feldspato, com macla, biaxial negativo (microclínio), muito alterado (sericitizado), com fraturas preenchidas por material opaco (óxido de Fe). Polilitionita, em cristais grandes, com clivagens parcialmente preenchidas por óxido de Fe. Criolita intersticial. Cristais de cassiterita, bem formados (subédricos), mas fraturados. Torita

subédrica, associada a pirocloro, anédricos (amarelo-caramelo). Cristais prismáticos de xenotima, variando de 0,6mm a 5,4mm, muito fraturada e alterada, com opaco incluído (torita). Zircão incluído na polilitionita. Óxido de ferro entrando nas clivagens e criolita, alterando a polilitionita, que em alguns pontos sofre cloritização.

PEG-05

Criolita maclada, formando grandes massas que englobam fragmentos de rocha e incluem cristais de quartzo e outros minerais. Gagarinita, anédrica, com borda de reação, incluída em criolita. Fragmentos compostos por riebeckita, com clivagem longitudinal, extinção oblíqua, orientada, muito alterada, cloritizada e ferruginizada ao longo das clivagens, além de grãos de quartzo anédricos, raros feldspatos. Penina, lamelar, variando de 0,2mm a 0,8mm, também ocorre esse mineral como alteração ao longo das clivagens e como inclusão orientada no quartzo. Ocorre galena dispersa. Microfissuras preenchidas com clorita.

PEG-06

Microclínio formando fenocristais muito alterados (sericitizados) e corroídos. Pequenos cristais de quartzo. Grãos de zircão muito fraturados e alterados, prismáticos, variando de 4,0mm a 6,0mm. Grãos castanhos avermelhados de cassiterita. Raros prismas de xenotima. Grandes cristais de quartzo de segunda geração incluído os feldspatos e demais minerais. Polilitionita, variando de 0,8mm a 6,0mm, anédricas, pleocroísmo incolor a verde claro, aparentemente em equilíbrio com o quartzo de segunda geração. Criolita, anédrica, intersticial, preenchendo espaços deixados pela alteração do feldspato e incluído os demais minerais. Material de alteração de cor ferruginosa abundante, preenche clivagens da polilitionita, espaços de alteração dos feldspatos, junto com a criolita.

PEG-07

Microclínio, anédrico, variando de 4,8mm a 8,0mm. Quartzo maior que 8,0mm, anédricos, fraturados. Polilitionita, anédrica, com óxido de ferro nas clivagens. Zircão e opaco (óxido de ferro) como acessórios. Presença de mica secundária nas fraturas (0,3mm) do quartzo e no interior do microclínio, birrefringência alta, alteração hidrotermal. Criolita intersticial, variando de 0,2mm a 1,6mm, arredondada. Xenotima milimétricas, agrupadas, parcialmente incluídas em microclínio.

PEG-08

Massa microcristalina quartzo-feldspática, com cassiterita e raros grãos de torita de 0,6mm, anédrica e de zircão alterado e fraturado, variando de 0,4mm a 0,8mm, dispersos na lâmina. Quartzo de segunda geração, em grandes cristais com fraturas. Gagarinita, com clivagens pouco definidas no sentido longitudinal, alta birrefringência, uniaxial positivo. Xenotima prismática, milimétrica, cor amarelada. Criolita intersticial e em massas microcristalinas com (1,4cmx2,1cm), contornando os cristais grande de quartzo, mas sem ser incluída. Galena variando de 0,2mm a 0,8mm, associada a criolita, mas em parte incluindo-a.

PEG-09

Somente polilitionita e criolita. A criolita envolve a polilitionita que, nas secções basais, forma hexágonos perfeitos, com birrefringência baixa (pela direção do corte), biaxial de pequeno ângulo. Materiais ferruginosos são vistos em alguns pontos, acompanhando a clivagem da polilitionita, possível alteração de torita. Pirocloro incluído dentro da polilitionita.

PEG-10

Parte da lâmina composta por uma massa muito orientada, de aparência xistosa, com curvas, composta por quartzo, feldspato e mica alterada e ferruginosa. Ocorre polilitionita e zircão, euédrico de 0,6mm. Em contato com esta massa, há grãos de quartzo, de 0,8cm, fraturados, com criolita em seus contornos e galena (0,6cm) preenchendo os espaços nas fraturas e nos limites entre os cristais. Presença de um grão de 3,2mm, anédrico, fraturado, incolor a castanho claro de gagarinita.

ANEXO 2 Resultado das análises por microsonda eletrônica da xenotima.

Amostra	F	Na2O	Al2O3	SiO2	P2O5	TiO2	Y2O3	CaO	FeO	La2O3	Ce2O3	Pr2O3	Nd2O3	Sm2O3	Eu2O3	Gd2O3	Tb2O3	Dy2O3	Ho2O3	Er2O3	Tm2O3	Yb2O3	Lu2O3	PbO	ThO2	UO2	O=2F	Total
Xen 1.1	0,220	0,000	0,001	0,005	33,440	0,000	32,163	0,048	0,000	0,000	0,026	0,038	0,085	0,161	0,000	0,580	0,442	6,075	2,911	8,888	1,685	14,427	1,777	0,000	0,110	0,017	-0,093	103,006
Xen 1.2	1,147	0,000	0,017	0,051	31,755	0,000	31,247	0,080	0,000	0,000	0,037	0,000	0,094	0,052	0,000	0,739	0,411	6,130	1,935	8,416	1,509	16,067	1,636	0,000	0,137	0,000	-0,483	100,979
Xen 1.3	2,242	0,000	0,029	0,110	31,745	0,000	33,095	0,000	0,000	0,019	0,082	0,031	0,115	0,414	0,000	0,809	0,300	6,930	2,448	9,375	1,457	15,642	1,837	0,000	0,309	0,000	-0,944	106,045
Xen 1.4	2,040	0,000	0,017	0,123	31,857	0,007	30,012	0,000	0,021	0,000	0,078	0,000	0,121	0,240	0,088	0,523	0,270	6,499	2,460	8,663	1,533	14,042	1,575	0,000	0,235	0,019	-0,859	99,564
Xen 1.5	2,107	0,000	0,003	0,120	32,418	0,000	31,236	0,065	0,030	0,000	0,074	0,006	0,085	0,009	0,000	0,502	0,398	6,728	1,503	8,550	1,616	13,106	1,879	0,000	0,259	0,000	-0,887	99,807
Xen 1.6	1,850	0,000	0,005	0,096	31,514	0,135	31,055	0,114	0,050	0,000	0,000	0,000	0,077	0,240	0,074	0,716	0,464	6,980	2,035	9,092	1,386	13,236	1,878	0,000	0,222	0,028	-0,779	100,468
Xen 1.7	2,075	0,000	0,000	0,131	31,824	0,049	30,188	0,000	0,063	0,029	0,038	0,084	0,058	0,262	0,000	0,742	0,365	7,187	2,615	8,435	1,486	15,050	1,539	0,002	0,269	0,081	-0,874	101,697
Xen 1.8	1,326	0,000	0,025	0,046	32,340	0,057	30,708	0,000	0,020	0,000	0,000	0,042	0,025	0,064	0,000	0,819	0,122	7,349	2,110	8,879	1,743	14,064	1,937	0,000	0,109	0,093	-0,558	101,320
Xen 1.9	1,482	0,000	0,008	0,088	32,143	0,121	30,958	0,000	0,000	0,060	0,032	0,000	0,078	0,000	0,000	0,693	0,296	6,770	1,822	8,644	1,528	11,772	1,521	0,009	0,263	0,000	-0,624	97,664
Xen 1.10	0,500	0,000	0,000	0,016	31,279	0,192	30,439	0,397	0,000	0,000	0,000	0,000	0,058	0,000	0,000	0,718	0,451	7,024	2,340	8,978	1,639	14,047	1,547	0,000	0,046	0,020	-0,211	99,482
Xen 1.11	1,956	0,000	0,000	0,110	31,536	0,128	30,801	0,000	0,000	0,031	0,000	0,000	0,121	0,173	0,000	0,548	0,428	6,810	2,381	8,371	1,691	14,228	1,817	0,000	0,358	0,016	-0,824	100,681
Xen 1.12	0,492	0,008	0,000	0,010	31,516	0,021	29,458	0,000	0,009	0,025	0,005	0,000	0,039	0,359	0,050	0,601	0,550	7,063	2,394	9,133	1,597	12,948	1,852	0,000	0,000	0,039	-0,207	97,963
Xen 1.13	2,270	0,000	0,000	0,145	31,772	0,000	32,314	0,000	0,005	0,025	0,075	0,048	0,026	0,226	0,000	0,842	0,326	6,317	1,732	8,503	1,587	12,815	1,762	0,026	0,359	0,075	-0,956	100,294
Xen 1.14	1,783	0,000	0,012	0,079	31,993	0,000	32,415	0,000	0,004	0,000	0,013	0,000	0,135	0,000	0,055	0,496	0,208	6,070	2,110	8,512	1,399	13,343	1,657	0,000	0,176	0,043	-0,751	99,752
Xen 1.15	1,391	0,000	0,004	0,025	31,313	0,000	30,350	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,080	0,049	0,000	0,685	0,297	6,395	1,789	8,459	1,505	14,605	1,714	0,000	0,172	0,000	-0,586	98,248
Xen 1.16	1,606	0,006	0,000	0,059	31,095	0,078	29,536	0,000	0,086	0,000	0,043	0,050	0,121	0,051	0,012	0,614	0,488	5,906	2,068	8,933	1,620	14,400	2,057	0,018	0,070	0,000	-0,676	98,241
Xen 1.17	1,236	0,000	0,005	0,078	31,792	0,000	31,677	0,194	0,047	0,006	0,041	0,000	0,070	0,000	0,055	0,537	0,371	6,553	1,837	8,853	1,765	14,088	1,914	0,000	0,136	0,000	-0,520	100,735
Xen 1.18	2,056	0,000	0,000	0,132	31,837	0,000	30,763	0,114	0,048	0,000	0,000	0,019	0,051	0,020	0,000	0,686	0,556	6,149	3,110	8,802	1,450	13,770	1,862	0,000	0,317	0,001	-0,866	100,878
Xen 1.19	0,735	0,000	0,000	0,011	32,493	0,000	29,103	0,034	0,000	0,020	0,067	0,054	0,077	0,151	0,000	0,400	0,287	5,837	1,805	8,715	1,898	13,352	1,649	0,000	0,510	0,041	-0,310	96,929
Xen 1.20	1,790	0,031	0,000	0,066	30,853	0,050	32,051	0,276	0,037	0,035	0,020	0,000	0,068	0,000	0,000	0,505	0,305	6,458	2,127	8,881	1,602	13,880	1,914	0,062	0,232	0,007	-0,754	100,496
Xen 1.21	2,106	0,000	0,015	0,093	31,420	0,071	29,216	0,000	0,027	0,021	0,063	0,000	0,033	0,374	0,042	0,557	0,329	6,210	2,406	8,489	1,612	15,788	1,755	0,000	0,364	0,000	-0,887	100,104
Xen 1.22	2,144	0,000	0,004	0,109	31,106	0,092	30,105	0,214	0,000	0,000	0,057	0,045	0,083	0,248	0,000	0,729	0,351	6,079	2,198	8,720	1,438	12,255	1,909	0,089	0,382	0,011	-0,903	97,466
Xen_Perfil 1	2,041	0,000	0,013	0,080	32,136	0,000	30,656	0,000	0,031	0,024	0,036	0,000	0,049	0,218	0,000	0,472	0,598	6,525	2,156	8,731	1,592	15,470	1,592	0,000	0,150	0,051	-0,859	101,762
Xen_Perfil 2	1,850	0,000	0,014	0,115	31,584	0,000	30,497	0,000	0,007	0,000	0,099	0,060	0,002	0,216	0,000	0,662	0,377	5,555	1,985	8,861	1,655	13,110	1,898	0,000	0,172	0,000	-0,779	97,941
Xen_Perfil 3	37,891	8,077	0,000	0,005	0,000	0,105	36,991	11,125	0,000	0,251	1,148	0,103	0,715	0,802	0,000	1,147	0,349	4,950	1,799	3,822	0,572	4,135	0,401	0,000	0,138	0,036	15,956	98,605
Xen_Perfil 4	38,347	7,702	0,003	0,043	0,000	0,000	36,404	12,116	0,049	0,230	0,803	0,144	0,627	0,642	0,000	0,990	0,405	4,549	1,237	3,442	0,423	2,348	0,499	0,041	0,200	0,000	16,148	95,096
Xen_Perfil 5	1,295	0,016	0,011	0,059	32,748	0,014	33,185	0,000	0,088	0,000	0,079	0,000	0,029	0,010	0,000	0,509	0,312	6,501	1,344	8,666	1,565	13,507	1,797	0,000	0,190	0,054	-0,545	101,433

Xen_Perfil 6	0,746	0,000	0,000	0,058	33,082	0,000	31,402	0,320	0,024	0,005	0,000	0,011	0,068	0,000	0,003	0,535	0,428	6,561	2,365	9,026	1,819	14,497	1,941	0,123	0,015	0,058	-0,314	102,773
Xen_Perfil 7	0,446	0,000	0,006	0,029	32,706	0,071	30,387	0,000	0,042	0,000	0,000	0,000	0,031	0,295	0,006	0,532	0,242	6,589	2,162	8,702	1,793	16,215	1,835	0,000	0,007	0,029	-0,188	101,936
Xen_Perfil 8	37,965	7,450	0,016	0,063	0,000	0,081	36,307	10,510	0,003	0,239	1,229	0,236	0,718	0,551	0,000	1,129	0,354	4,531	1,434	3,766	0,617	4,743	0,505	0,000	0,139	0,000	15,987	96,598
Xen_Perfil 9	37,713	7,630	0,000	0,018	0,021	0,037	39,344	11,432	0,004	0,239	1,024	0,136	0,756	0,576	0,009	1,221	0,501	4,625	0,959	3,504	0,370	3,255	0,565	0,200	0,118	0,042	15,881	98,419

ANEXO 3 Resultado das análises por microsonda eletrônica da gagarinita.

AMOSTRAS	F	Na2O	Al2O3	SiO2	P2O5	TiO2	Y2O3	CaO	FeO	Ho2O 3	Er2O3	Tm2O 3	Yb2O 3	Lu2O3	PbO	Sm2O 3	Eu2O 3	Gd2O 3	Tb2O3	Dy2O 3	ThO2	La2O3	Ce2O 3	Pr2O3	Nd2O 3	UO2	Total
3_C1_Gag 1	41,473	4,943	0	0,032	0,14	0,028	33,114	10,93	0,034	1,017	3,812	0,561	0,432	0,452	0	0,93	0	1,212	0,529	5,772	0,278	0,636	2,705	0,258	1,241	0	93,067
3_C1_Gag 2	41,913	5,765	0,018	0,004	0	0,083	34,249	10,927	0,04	0,742	3,775	0,344	0,447	0,518	0,058	0,664	0	1,276	0,554	5,591	0,215	0,462	2,121	0,374	1,168	0,017	93,677
3_C1_Gag 3	41,885	5,574	0,027	0,007	0,016	0,084	35,655	11,729	0	0,68	4,122	0,459	0,41	0,568	0	1,067	0	1,194	0,528	5,598	0,259	0,453	2,154	0,352	1,189	0	96,374
3_C1_Gag 4	41,721	6,227	0	0,034	0,011	0	33,055	13,818	0,084	1,064	3,989	0,557	0,372	0,523	0	0,336	0,036	1,122	0,547	5,89	0	0,073	0,535	0,068	0,429	0	92,924
3_C1_Gag 5	42,176	5,279	0	0,034	0,07	0,09	34,584	9,89	0,018	0,801	3,966	0,382	0,591	0,512	0	0,699	0	1,244	0,371	5,648	0,249	0,289	1,848	0,17	0,997	0,018	92,168
3_C1_Gag 6	41,715	5,679	0,016	0,019	0,013	0	34	11,042	0,058	0,62	3,972	0,544	0,399	0,52	0,015	1,041	0	1,147	0,608	5,97	0,16	0,392	1,929	0,204	1,057	0,059	93,615
3_C1_Gag 7	40,874	5,438	0	0,014	0,026	0,153	33,027	10,557	0,101	0,787	4,454	0,615	0,573	0,727	0	0,829	0	1,113	0,579	5,735	0,131	0,436	2,051	0,271	1,083	0	92,364
3_C1_Gag 8	41,563	6,589	0,019	0,04	0,095	0,076	32,768	10,561	0,059	0,59	4,06	0,63	0,338	0,619	0	0,837	0	1,364	0,461	5,474	0,126	0,584	2,243	0,293	1,157	0,027	93,073
3_C1_Gag 9	40,176	9,021	0	0	0,059	0	33,028	9,898	0,048	0,473	4,225	0,456	0,366	0,493	0	0,934	0,023	1,213	0,458	5,699	0,176	0,482	1,965	0,279	1,037	0,026	93,619
3_C1_Gag 10	40,267	6,165	0	0,034	0,053	0	33,276	11,404	0	0,681	4,285	0,39	0,39	0,583	0	0,934	0	1,033	0,533	5,251	0,27	0,433	2,325	0,286	1,105	0	92,743
3_C1_Gag 11	40,864	5,954	0	0,035	0,114	0	32,039	11,267	0,012	0,785	4,42	0,503	0,469	0,58	0	0,968	0	1,159	0,582	5,91	0,232	0,51	1,984	0,252	1,097	0	92,53
3_C1_Gag 12	40,921	6,213	0	0,049	0,006	0,174	32,526	9,931	0,044	0,593	4,005	0,439	0,491	0,633	0	0,949	0	1,14	0,442	5,674	0,193	0,508	2,137	0,261	1,045	0	91,144
3_C1_Gag 13	41,096	5,366	0	0,026	0,062	0	32,898	10,733	0,084	0,539	4,22	0,58	0,526	0,574	0	0,885	0	1,211	0,502	6,133	0,181	0,299	1,965	0,253	1,017	0,078	91,924
3_C1_Gag 14	40,702	5,022	0	0	0,075	0	35,061	12,448	0,006	0,58	4,421	0,454	0,45	0,387	0	0,745	0,056	1,082	0,421	5,428	0,016	0,097	1,075	0,124	0,883	0	92,395
3_C1_Gag 15	42,527	5,026	0,014	0,044	0,084	0	33,431	12,581	0	0,864	4,484	0,469	0,432	0,689	0	0,846	0	1,329	0,523	5,853	0,086	0,239	1,517	0,34	1,033	0,053	94,558
3_C2_Gag 16.1	41,522	5,678	0	0,02	0,036	0	33,18	10,865	0,182	1,041	4,296	0,478	0,464	0,56	0,004	0,826	0	1,195	0,536	6,064	0,179	0,546	2,256	0,395	1,257	0	94,097
3_C2_Gag 16.2	40,568	5,033	0	0	0	0	34,731	11,3	0,708	0,825	4,429	0,355	0,505	0,545	0	0,806	0,037	1,141	0,73	6,162	0,125	0,446	1,918	0,29	1,234	0,001	94,808
3_C2_Gag 16.3	40,316	5,873	0	0,017	0,046	0,062	34,01	10,17	0,286	0,705	4,36	0,419	0,353	0,612	0,002	0,832	0,012	1,214	0,529	6,249	0,176	0,42	2,1	0,262	1,195	0	93,245
3_C2_Gag 16.4	40,58	5,158	0,012	0,043	0,046	0,153	33,664	12,079	0	0,982	4,02	0,459	0,344	0,41	0	0,75	0	1,148	0,716	6,454	0,116	0,225	1,606	0,306	1,152	0	93,337
3_C2_Gag 16.5	42,59	4,944	0,011	0,057	0,092	0,014	32,841	11,27	0	0,657	4,066	0,632	0,552	0,589	0	1,063	0,009	1,211	0,499	6,062	0,071	0,168	1,238	0,14	0,892	0	91,735
3_C2_Gag 16.6	41,251	5,618	0	0,029	0,07	0	33,764	11,016	0,012	1,07	4,41	0,594	0,29	0,538	0	0,927	0,042	1,045	0,707	5,915	0,135	0,352	1,688	0,221	0,956	0,03	93,311
3_C2_Gag 16.7	41,217	6,269	0,023	0,097	0,061	0	33,601	9,69	0,084	1,132	4,35	0,516	0,422	0,417	0,012	0,991	0	1,189	0,654	6,137	0,135	0,476	2,196	0,343	1,158	0	93,815
3_C2_Gag 16.8	41,152	5,301	0	0,009	0,05	0,007	35,087	9,837	0,05	0,964	4,176	0,355	0,476	0,705	0	0,867	0	1,314	0,485	6,399	0,193	0,445	2,245	0,418	1,149	0,001	94,358
3_C2_Gag 16.9	40,805	5,376	0	0,006	0,054	0,187	34,784	10,3	0,109	0,631	4,421	0,592	0,479	0,591	0	0,962	0	1,374	0,454	6,221	0,247	0,433	2,179	0,251	1,217	0,019	94,511
3_C2_Gag 16.10	40,439	5,449	0,021	0,027	0,056	0	33,06	10,185	0,234	0,835	4,028	0,416	0,563	0,642	0	0,562	0	1,58	0,715	5,817	0,218	0,522	2,455	0,338	1,198	0,011	92,344
3_C2_Gag 16.11	39,815	4,409	0	0	0,01	0	34,222	9,964	0,019	0,906	4,249	0,371	0,26	0,678	0	0,619	0	1,171	0,646	6,209	0,277	0,449	2,302	0,394	1,229	0	91,435
3_C2_Gag 16.12	41,182	5,029	0	0,001	0,07	0	34,782	11,705	0,025	0,694	4,376	0,423	0,358	0,682	0	0,779	0,097	1,194	0,47	5,973	0,168	0,442	2,013	0,416	1,216	0	94,755
3_C2_Gag 16.13	40,608	4,54	0	0,013	0,02	0	35,339	11,378	0	0,666	4,214	0,505	0,312	0,635	0,074	1,033	0	1,288	0,575	5,715	0,22	0,412	2,299	0,278	1,231	0,033	94,29
4_ExA_Gag 1.1	42,394	8,214	0	0,031	0,1	0,021	29,903	13,282	0,018	0,896	3,812	0,419	0,397	0,434	0	0,857	0	1,239	0,394	5,33	0,112	0,27	1,443	0,246	0,845	0,085	92,892
4_ExA_Gag 1.2	41,949	8,018	0	0	0,073	0,056	30,332	11,958	0,076	0,737	4,21	0,431	0,381	0,599	0,036	0,81	0,052	1,14	0,471	5,467	0,171	0,488	2,26	0,338	1,149	0	93,539
4_ExA_Gag 1.3	41,361	8,9	0	0,074	0,091	0,161	30,414	13,219	0,042	0,632	4,115	0,554	0,444	0,405	0	0,784	0,044	1,183	0,522	5,782	0,178	0,508	2,451	0,21	1,218	0	95,877
4_ExA_Gag 1.4	42,775	8,018	0	0,007	0,088	0	29,967	13,089	0,482	1,063	4,088	0,547	0,538	0,456	0	0,687	0	1,312	0,536	5,178	0,145	0,409	2,036	0,38	1,072	0	94,862
4_ExA_Gag 1.5	40,896	8,569	0	0	0,059	0,14	31,675	14,678	0	0,723	3,893	0,472	0,412	0,461	0,001	0,943	0,022	1,148	0,506	5,418	0,151	0,29	1,621	0,151	0,823	0	95,833

4_ExA_Gag 1.6	42,895	8,823	0,003	0	0,133	0,091	33,159	13,233	0,098	1,095	3,794	0,574	0,549	0,508	0	0,844	0	1,169	0,466	5,552	0,153	0,236	1,239	0,195	0,872	0,056	97,676
4_Exc_Gag 1.7	43,417	8,084	0,014	0,054	0,044	0	31,528	13,766	0,059	0,648	3,944	0,585	0,309	0,691	0	0,628	0,093	1,292	0,565	5,342	0,244	0,347	1,652	0,2	0,905	0,015	96,145
4_Exc_Gag 1.8	42,184	8,833	0,004	0	0,007	0	29,573	12,331	0,015	0,406	4,29	0,532	0,419	0,366	0	0,465	0	1,144	0,575	5,225	0,169	0,601	2,464	0,281	1,178	0,039	93,339
4_Exc_Gag 1.9	37,51	9,227	0	0	0	0,077	29,559	11,983	0	0,697	4,209	0,484	0,44	0,505	0	0,579	0,123	1,327	0,431	5,31	0,141	0,575	2,424	0,372	1,159	0	91,338
4_Exc_Gag 1.10	42,14	7,591	0,006	0,025	0,018	0,035	30,251	12,1	0,193	0,652	4,059	0,516	0,478	0,696	0	0,735	0,025	1,082	0,336	5,42	0,133	0,632	2,222	0,322	1,033	0,063	93,02
4_Exc_Gag 1.11	41,548	8,411	0	0	0,113	0,251	31,202	12,983	0,031	0,698	4,056	0,555	0,418	0,514	0,013	0,915	0	0,925	0,377	5,557	0,274	0,427	1,733	0,389	0,976	0,063	94,935
4_Exc_Gag 1.12	42,33	8,269	0	0,03	0,046	0,098	33,371	12,925	0,037	0,896	3,896	0,527	0,302	0,543	0	0,658	0	1,095	0,489	5,225	0,249	0,299	1,594	0,248	0,833	0,032	96,169
4_Exc_Gag 1.13	42,585	7,835	0,015	0,033	0,081	0,007	32,096	12,432	0,023	0,742	3,972	0,519	0,43	0,584	0	0,616	0	1,062	0,419	5,44	0,117	0,478	1,84	0,271	0,925	0	94,591
4_Exc_Gag 1.14	42,66	8,512	0	0	0,072	0	30,323	13,452	0,011	1,021	3,956	0,511	0,406	0,426	0	0,818	0,007	1,041	0,601	5,038	0,107	0,249	1,146	0,198	0,825	0,073	93,491
4_Gag 1	40,373	6,999	0,008	0,031	0,129	0	32,19	12,662	0,002	0,932	3,99	0,41	0,455	0,513	0	0,719	0	0,985	0,518	5,26	0,427	0,093	1,116	0,197	0,996	0	92,006
4_Gag 2	40,298	3,295	1,126	0,035	0,139	0	35,557	16,233	0	0,44	3,329	0,384	0,273	0,372	0	0,803	0	1,228	0,45	5,152	0	0,161	0,864	0,168	0,921	0,034	94,294
4_Gag 3	42,366	8,096	0	0,043	0	0	33,19	11,005	0	0,672	3,684	0,428	0,353	0,62	0	0,874	0	1,216	0,466	5,638	0,069	0,134	1,319	0,264	0,991	0,051	93,641
4_Gag 4	38,629	3,056	0,01	0,009	0,09	0,056	36,476	12,905	0	0,834	4,074	0,582	0,433	0,553	0	0,674	0	1,207	0,621	5,341	0,198	0,168	1,368	0,247	1,115	0	92,381
4_Gag 5	39,53	3,57	0	0	0,082	0,021	36,729	14,161	0	0,934	3,725	0,517	0,265	0,424	0	0,969	0	1,294	0,346	5,129	0,188	0,147	1,492	0,263	1,229	0,015	94,386
4_Gag 6	41,847	8,689	0,011	0,034	0,049	0	32,87	13,315	0	0,888	3,698	0,467	0,422	0,501	0,031	0,878	0	1,139	0,542	5,294	0,056	0,147	1,119	0,163	0,798	0,054	95,392

ANEXO 4 Resultados das análises por ICP dos pegmatitos.

PESO%	PEG01	PEG02	PEG03	PEG04	PEG05	PEG06	PEG07	PEG08	PEG09	PEG10	PEG11	PEG12	PEG14	PEG14A	PEG15	PEG16	PEG17	PEG18	PEG19	PEG20	PEG21
F	8,03	12	19,3	4,07	39,9	1,63	3,91	35,8	7,19	39,5	38,5	44,4	3,56	1,61	41	44,4	29,2	2,09	5,91	18	7,13
S	0,01	0,01	2,5	0,23	0,05	0,01	0,06	0,34	0,47	0,06	0,36	0,01	0,01	0,23	0,05	0,03	0,52	0,05	0,05	3,82	0,05
SiO2	54,49	45,77	33,85	63,9	8,8	67,9	69,4	10,35	63,26	9,48	6,12	0,16	61,77	68,17	1,31	0,52	25,13	68,1	46,55	28,35	47,63
Al2O3	12,74	14,68	10,43	10	20,7	11	10,7	11,11	8,07	21,8	21,75	23,9	10,51	12,28	23,6	23,6	16,44	7,91	9,3	10,02	11,39
Fe2O3	6,72	5,92	0,31	3,25	0,4	5,72	2,96	0,15	3,67	0,08	0,2	0,03	5,9	2,67	0,05	0,04	1,17	7,72	3,99	0,24	5,96
MnO	0,16	0,14	0,029	0,12	0,03	0,1	0,09	0,012	0,235	0,01	0,028	0,01	0,365	0,096	0,02	0,02	0,021	0,1	0,118	0,029	0,164
MgO	0,04	0,04	0,05	0,02	0,19	0,04	0,04	0,02	0,04	0,02	0,06	0,01	0,05	0,01	0,05	0,01	0,05	0,04	0,06	0,03	0,03
CaO	0,05	0,05	0,09	0,07	0,13	0,05	0,09	5,12	0,12	0,13	0,1	0,09	0,11	0,03	0,06	0,09	0,13	0,19	0,43	0,09	0,37
Na2O	3,06	8,28	18,39	2,92	37	1,69	2,57	22,68	4,64	39,1	39,08	43,8	0,85	4,2	42,2	42,9	28,53	0,79	4,27	16,54	3,61
K2O	7,87	7,53	0,19	6,17	0,13	5,98	6,51	0,02	3,61	0,03	0,14	0,01	5,64	6,27	0,02	0,01	0,41	4,6	3,62	0,11	5,62
TiO2	0,104	0,094	0,05	0,03	0,01	0,03	0,06	0,013	0,046	0,01	0,038	0	0,065	0,029	0	0	0,014	0,03	0,048	0,019	0,097
P2O5	0,05	0,16	0,03	0,31	0,02	0,11	0,07	0,03	0,13	0,01	0,02	0,01	0,71	0,03	0,01	0,01	0,35	0,97	5,38	0,45	3,37
LOI	4,74	6,58	7,01	2,34	17,2	1,88	2,59	14,6	3,74	17,1	17,74	17,8	2,5	1,76	17,6	17,8	13,25	2,56	3,81	3,89	4,3
Total	90,03	89,24	70,42	89,1	84,6	94,5	95,1	64,11	87,56	87,8	85,28	85,8	88,49	95,55	84,9	85	85,49	93	77,57	59,77	82,52
PPM																					
Sc	8	9	9	6	22	10	7	8	5	21	26	22	12	3	23	24	20	47	13	3	9
Be	354	287	9	123	12	136	190	3	3938	4	31	1	249	1938	1	1	51	124	174	4	493
V	6	5	8	5	5	11	5	5	5	6	5	6	10	5	5	6	5	22	9	5	5
Ba	15	13	67	20	10	25	26	35	8	75	7	57	39	21	6	6	117	32	43	16	24
Sr	216	202	111	202	208	291	151	465	136	166	208	164	265	83	107	127	197	346	519	101	440
Y	257	1100	77	2375	319	1053	538	10000	2102	917	62	16	5387	215	20	24	2395	8268	10000	3073	10000
Zr	14	17	64	1472	15	1117	402	38	19	11	22	7	2673	3884	9	6	60	697	1345	27	2571
Cr	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Co	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Ni	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
Cu	10	10	20	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	340	10
Zn	3740	4240	1480	2150	910	1600	2110	550	10000	820	820	30	3030	10000	670	230	2860	2730	2670	1200	4810
Ga	32	31	4	31	3	45	33	28	15	1	3	1	34	58	1	1	5	30	34	12	34
Ge	26	20	3	14	3	18	17	13	15	2	2	1	22	12	1	1	11	27	17	2	22
As	5	5	5	5	5	5	5	28	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	8	5	5
Rb	1000	1000	664	1000	394	1000	1000	22	1000	88	438	3	1000	1000	18	4	1000	1000	1000	537	1000

Nb	830	1000	618	1000	123	1000	1000	130	366	93	283	16	1000	965	28	15	78	847	1000	212	1000
Mo	2	2	2	2	2	2	2	2	5	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	2	2
Ag	0,9	0,7	15,1	7,7	2,3		2,9	7,5	1,8	1	1,4	0,5			0,5	0,7	1,2	3		26,2	
In	6,5	8,6	20,8	27,8	16,9	12,8	17	8,3	19,3	9,4	13,6	0,2	27,6	8,3	5,1	2	73,1	46,2	49,9	5,7	30,1
Sn	298	521	589	1000	476	1000	1000	243	169	137	64	2	1000	732	12	5	1000	1000	1000	97	1000
Sb	0,5	0,5	0,5	0,8	0,5	0,8	0,9	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1,3	0,5	0,5	0,5	0,7	1,5	0,5	1,1
Cs	486	377	13,1	175	8	179	182	0,8	214	1,7	5,2	0,5	315	143	0,6	0,5	18,8	164	174	19,7	332
Hf	5,2	7,9	11,4	239	8	166	73,2	102	3,7	1,6	0,9	0,2	402	1000	2,5	0,5	46,8	132	325	8,8	384
Ta	50,1	185	14,2	275	2,9	157	288	0,1	21,2	1,9	5,6	0,6	343	149	0,7	0,6	1,6	92,2	288	5,6	311
W	22	28	9	37	7	29	30	74	12	6	6	7	59	8	6	7	9	37	114	8	84
Tl	23,3	19,4	3,1	19,3	0,8	19,8	22,2	0,1	9,5	0,2	0,1	0,1	18,4	22,5	0,4	0,1	0,9	15,4	10,4	8,8	18,3
Pb	259	474	10000	8750	607	477	3230	10000	268	1000	10000	61	1530	1050	1120	821	10000	1530	2890	10000	1430
Bi	62,8	11,8	49,3	61,8	1	13,8	296	61,8	4,5	2,8	49	0,4	22,3	24,2	7,6	3,7	43,6	25,7	50,5	276	30,9
Th	108	116	337	2000	13,2	2000	1070	688	101	8,7	6,4	0,7	2000	596	3,5	1,3	673	2000	2000	203	2000
U	18,1	11,5	3,6	62,1	0,2	55,7	126	0,9	39,3	6,4	0,3	0,1	104	90,5	0,2	0,1	3,6	37,1	130	2,8	169
Li	10000	10000	433	5550	311	5890	6730	26	8200	94	339	23	10000	1150	19	15	586	5450	5500	79	10000
La	13,2	38,4	1,9	34,9	6,2	28,6	52,6	2000	26,5	14,2	1	0,1	72,7	39,4	0,3	0,3	3,1	32,8	110	2,9	71,2
Ce	42,4	128	6,9	127	22	123	175	3000	101	54,6	3,2	0,1	278	149	0,7	0,9	12,9	138	476	11,5	277
Pr	4,5	13,7	0,81	13,9	3,29	13,9	18,4	1000	16,7	9,04	0,49	0,05	29,8	22,7	0,05	0,12	2,66	25,7	81,5	2,31	42,3
Nd	11,8	36,2	2,5	42,4	13,8	43,5	45,1	2000	72,5	38,5	2,1	0,1	92	79,9	0,3	0,7	16,9	120	398	13,6	196
Sm	5,7	21,3	1,4	35,3	8,8	31,1	18,3	1000	60	26,6	1,2	0,1	78,8	30,3	0,1	0,3	27,3	129	535	27,1	295
Eu	0,14	0,64	0,05	1,04	0,21	0,71	0,34	80,7	1,57	0,64	0,05	0,05	2,47	0,7	0,05	0,05	0,96	3,87	17,9	1,07	10,7
Gd	8,4	34,5	2,8	72,9	12,5	47,3	22,2	1000	94,2	37,9	1,8	0,1	163	32,7	0,1	0,4	67,3	270	1000	71,6	738
Tb	5,3	23,7	1,4	52,2	6	28,8	13,9	1000	45,4	17,9	0,9	0,1	118	13,5	0,1	0,2	51,1	182	870	59,8	539
Dy	61,1	292	15,9	648	53,6	313	155	1000	431	161	7,7	0,4	1000	122	0,7	1,8	651	1000	1000	785	1000
Ho	16,9	82,9	4,4	190	11,8	83,3	43	1000	102	36,3	1,8	0,1	425	28,6	0,2	0,4	194	626	1000	233	1000
Er	71,8	387	18,8	845	39,7	352	188	1000	394	123	6,2	0,3	1000	106	0,6	1,4	882	1000	1000	1000	1000
Tm	15,7	85,5	4	186	6,56	74,1	39,7	1000	75,3	20,8	1,06	0,1	430	21,1	0,13	0,26	192	596	1000	246	1000
Yb	108	618	28,5	1000	38,3	505	277	1000	501	117	6	1,1	1000	157	1,2	1,7	1000	1000	1000	1000	1000
Lu	14,5	84,2	3,88	180	4,4	67,4	37,8	1000	64,9	13,6	0,76	0,24	424	23,8	0,18	0,26	193	568	1000	248	1000

