



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 550

**ASSINATURA GEOQUÍMICA DE APATITA DE ROCHAS
SANUKITOIDES DO SUDESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO,
PROVÍNCIA CARAJÁS**

Dissertação apresentada por:

CAMILA SANTOS DA FONSECA

Orientador: Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão (UFPA)

**BELÉM
2019**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

- F676a Fonseca, Camila Santos da -
Assinatura geoquímica de apatita de rochas sanukitoides do sudeste do cratón
amazônico, Província Carajás. / Camila Santos da Fonseca. — 2019.
xiv, 69 f. : il. Color.
Orientador (a): Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão
- Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e
Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
1. Apatita. 2. Sanukitoides. 3. Domínio Rio Maria. 4. Indicador metalogenético.
5. Arqueano. I. Título.

CDD 546.133



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ASSINATURA GEOQUÍMICA DE APATITA DE ROCHAS
SANUKITOIDES DO SUDESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO,
PROVÍNCIA CARAJÁS**

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR
CAMILA SANTOS DA FONSECA**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOQUÍMICA E PETROLOGIA**

Data de Aprovação: 26 / 05 / 2019

Banca Examinadora:

Prof. Claudio Nery Lamarão
Orientador – UFPA

Prof. Hilton Túlio Costi
Membro – MPEG

Prof. Herbet Conceição
Membro - UFS

AGRADECIMENTOS

- À Universidade Federal do Pará, através do Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, onde pude realizar a seguinte pesquisa.
- O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.
- Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG) e ao Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, pelo suporte técnico-científico.
- Ao orientador e amigo, Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão, por toda a participação nessa etapa de minha vida. Agradeço a confiança, paciência e compreensão nos momentos difíceis, agindo sempre com decoro ao magistério.
- Ao corpo técnico do Laboratório de Microanálises, Dra. Gisele Tavares, que realizou as análises de microsonda.
- Aos meus país e irmãos que tiveram comigo dando apoio, acreditando em mim.
- Ao meu amor e amigo José Moura Jr. e ao amigo Rômulo Amaral que estão sempre ao meu lado.

“Algumas oportunidades não voltam apenas porque você se arrependeu.”

Clarice Lispector

RESUMO

A Suíte Sanukitoide Rio Maria, inclusa no Domínio Rio Maria, porção sul da Província Carajás, é composta por granodioritos e rochas máficas e intermediárias associadas. Possui grandes exposições a norte da cidade de Redenção, a sul de Rio Maria, a leste da localidade de Bannach e nordeste de Xinguara, porção SE do Cráton Amazônico, sendo intrusiva em *greenstones* do Supergrupo Andorinhas, no Tonalito Arco Verde e no Complexo Tonalítico Caracol. Outras rochas granodioríticas correlacionáveis aos sanukitoides Rio Maria foram descritas nas regiões de Água Azul do Norte, Ourilândia do Norte, Serra do Inajá e região do Xingu, todas inseridas nos domínios da Província Carajás. Os sanukitoides Rio Maria são rochas metaluminosas, de afinidade cálcio-alcálica e enriquecidas em Mg, Cr e Ni em relação a outras rochas granodioríticas. Apresentam epidoto primário, zircão, allanita, titanita, apatita e magnetita como principais fases acessórias. Datações U-Pb e Pb-Pb em zircão definiram idades de cristalização de 2,87 Ga para essas rochas. A apatita é um mineral geralmente precoce na ordem de cristalização de rochas granitoides. Devido sua capacidade de incorporar em sua estrutura conteúdos variáveis de ETR e outros elementos-traço, como Na, K, Mn, F, Cl, Sr, Y, Pb, Ba, Th, U, V e As, tem sido utilizada como um bom indicador petrológico e metalogenético de sua rocha hospedeira. O principal objetivo desta dissertação foi o estudo morfológico e composicional, por microsonda eletrônica, de cristais de apatita de rochas granodioríticas da Suíte Sanukitoide Rio Maria, aflorantes nas regiões de Rio Maria, Ourilândia do Norte e Bannach, Domínio Rio Maria, Província Carajás. Para fins comparativos foram estudadas apatitas dos Leucogranodioritos ricos em Ba-Sr de Água Azul do Norte e do Trondhjemitó Mogno da região de Bannach, ambos arqueanos. Foram comparadas, ainda, apatitas dos granitos paleoproterozoicos tipo A Seringa e Antônio Vicente, o primeiro fracamente oxidado e estéril, e o segundo, reduzido e mineralizado a Sn. As apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte possuem zoneamentos composicionais concêntricos a oscilatórios mais evidentes e complexos, com zonas claro-escuras bem definidas. Por outro lado, as apatitas dos sanukitoides de Rio Maria e Bannach formam cristais mais homogêneos, com zoneamento pouco evidente a inexistente. As apatitas do leucogranodiorito rico em Ba-Sr e do Trondhjemitó Mogno são igualmente bem desenvolvidas (>150 μm), porém com raros zoneamentos restritos às bordas de alguns cristais. Inclusões de zircão são comuns apenas nas apatitas do Trondhjemitó Mogno. No Granito Seringa, as apatitas são de granulação fina (<100 μm), subédricas a euédricas e com zoneamentos bem definidos, enquanto as do granito estanífero Antônio Vicente são pouco

desenvolvidas (<30 μm), subarredondadas e isentas de zoneamentos composicionais. As principais variações composicionais entre as apatitas das rochas sanukitoides do Domínio Rio Maria estão, além de CaO, P_2O_5 e F, no conteúdo mais elevado de ETRL (La, Ce, Pr, Sm, Eu) encontradas nas apatitas de Ourilândia do Norte e Rio Maria em relação às de Bannach, as quais mostram concentrações mais baixas e *trend* sub-horizontal no diagrama $(\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}+\text{Sm})$ vs $(\text{Gd}+\text{Yb}+\text{Y})$. Este enriquecimento em ETR fica mais evidente no diagrama $\Sigma\text{ETR}+\text{Y}$ vs $(\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}+\text{Sm}+\text{Eu})$, onde as apatitas estudadas formam um *trend* de enriquecimento no sentido dos sanukitoides de Bannach – Rio Maria – Ourilândia do Norte. Com base nessa assinatura geoquímica são sugeridas fontes magmáticas similares e mais enriquecidas em ETRL para as apatitas de Ourilândia do Norte e Rio Maria. Por outro lado, as apatitas dos sanukitoides de Bannach apresentaram concentrações mais elevadas e variáveis de CaO, P_2O_5 e F e mais baixas de ETRL, sugerindo origem a partir de um magma composicionalmente diferente e mais empobrecido em ETRL. As apatitas do Trondhjemitó Mogno e do leucogranodiorito rico em Ba-Sr são igualmente mais empobrecidas em ETRL e tendem a acompanhar nos diagramas as apatitas dos sanukitoides de Bannach, porém as apatitas dos leucogranodioritos mostram maior enriquecimento em Sr. O Granito Seringa possui apatitas mais enriquecidas em F e ETR+Y quando comparadas às apatitas das rochas arqueanas, e se destacam em todos os diagramas geoquímicos. Tal fato demonstra que composições de apatita podem ser utilizadas também para registrar processos petrogenéticos e diferenciar composições magmáticas que marcaram mudanças durante a evolução crustal de uma região, por exemplo, distinguindo entre granitoides arqueanos e paleoproterozoicos, sendo, desta forma, úteis em estudos de proveniência. Apatitas do granito paleoproterozoico Antônio Vicente, mineralizado em Sn, mostram concentrações elevadas de F, Mn, Fe, Y e ETR (exceto Eu), em relação aos demais granitoides, característica que pode ser utilizada como um bom indicador metalogenético.

Palavras-chave: Província Carajás, Sanukitoides, Domínio Rio Maria, Arqueano, Apatita, Indicador metalogenético.

ABSTRACT

The Rio Maria Sanukitoid Suite, included in the Rio Maria Domain, southern portion of the Carajás Province, is composed of granodiorites and associated mafic and intermediary rocks. It has large exposures in the north of Redenção city, south of Rio Maria, east of Bannach and northeast of Xinguara, SE portion of the Amazonian Craton, being intrusive in greenstones of the Andorinhas Supergroup, Arco Verde Tonalite and Complex Caracol Tonalitic. Other granodioritic rocks correlated to the Rio Maria sanukitoids were described in the regions of Água Azul do Norte, Ourilândia do Norte, Serra do Inajá and Xingu region, all of them included in the Carajás Province. The Rio Maria Sanukitoids are metaluminous rocks, calcic-alkaline affinity and enriched with Mg, Cr and Ni in relation to other granodiorite rocks. They present primary epidote, zircon, allanite, titanite, apatite and magnetite as main accessory phases. U-Pb and Pb-Pb zircon dates defined crystallization ages of 2,87 Ga for these rocks. Apatite is a generally early mineral in the order of crystallization of granitoid rocks. Because of its properties, it can incorporate variable contents of REE and other trace elements, such as Na, K, Mn, F, Cl, Sr, Y, Pb, Ba, Th, U, V, and has been used as a good petrological and metallogenetic indicator of its host rock. The objective of this dissertation was the morphological and compositional study, by electron microprobe, of apatite crystals of granodioritic rocks from Rio Maria Sanukitoid Suite in Rio Maria, Ourilândia do Norte and Bannach regions, Rio Maria Domain, Carajás Province. For comparative purposes apatites of Leucogranodiorite with high Ba-Sr from Água Azul do Norte and of the Trondhjemite Mogno from Bannach region, both archaeans, have been studied. It was also compared to the apatites of the Seringa and Antônio Vicente paleoproterozoic type A granites, the first weakly oxidized and sterile, and the second, reduced and mineralized to Sn. The apatites of the Ourilândia do Norte sanukitoids have compositional zonations concentric to oscillatory more evident and complex, with well defined light-dark zones. On the other hand, the apatites of the Rio Maria and Bannach sanukitoids form more homogeneous crystals, with not evident or non-existent zones. The apatites of high Ba-Sr Leucogranodiorite and Mogno Trondhjemite are equally developed ($> 150 \mu\text{m}$), but with rare zoning restricted to the edges of some crystals. Inclusions of zircon are common only in apatites of Mogno Trondhjemite. In the Seringa granite, the apatites are comparatively smaller ($<100 \mu\text{m}$), subhedral to euhedral and with well defined zonations, while those of the Antônio Vicente granite are poorly developed ($<30 \mu\text{m}$), subrounded and free of compositional zonations. The main compositional variations among the apatite of the Rio Maria Domain, in addition to CaO, P₂O₅ and F, are in

the highest content of LREE (La, Ce, Pr, Sm, Eu) found in the apatite of Ourilândia do Norte and Rio Maria in relation to those of Bannach, which show lower concentrations and sub-horizontal trend in the diagram $(La + Ce + Pr + Sm)$ vs. $(Gd + Yb + Y)$. This enrichment in REE is more evident in the diagram $\Sigma REE + Y$ vs $(La + Ce + Pr + Sm + Eu)$, where the studied apatite form an enrichment trend towards the Bannach - Rio Maria - Ourilândia do Norte sanukitoid. Based on this geochemical signature, similar and more enriched magmatic sources in LREE are suggested for the apatites of Ourilândia do Norte and Rio Maria. On the other hand, the apatites of Bannach sanukitoids presented higher and more variable concentrations of CaO, P₂O₅ and F and lower LREE, suggesting origin from a compositionally different and more LREE depleted magma. The apatites of the Mogno Trondhjemite and the leucogranodiorite high Ba-Sr are also more impoverished in LREE and tend to follow the apatite of the Bannach sanukitoides in the diagrams, but the apatite of the leucogranodiorites show greater enrichment in Sr. The Seringa granite has apatites more enriched in F and REE + Y when compared to the apatite of the archaean rocks, and they stand out in all the geochemical diagrams. This fact demonstrated that apatite compositions can also be used to record petrogenetic processes and to differentiate magmatic compositions that marked changes during the crustal evolution of a region, for example, distinguishing between Archaean and Paleoproterozoic granitoids, and are, therefore, useful in studies of provenance. Apatites of Antônio Vicente paleoproterozoic granite, mineralized in Sn, show high concentrations of F, Mn, Fe, Y and REE (except Eu), in comparison to other granitoids and can be used as a good metallogenetic indicator.

Keyword (s): Carajás Province, Sanukitoid, Rio Maria Domain, Apatite, Metallogenetic indicator.

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Unidades e amostras selecionadas para este estudo. -----	12
Tabela 2 - Localização e idade de rochas sanukitoides e outras rochas do Domínio Rio Maria (este estudo).-----	21
Tabela 3 - Localização das apatitas analisadas e características petrográficas de suas rochas hospedeiras. -----	22
Tabela 4 - Composições médias representativas das apatitas deste estudo. -----	30
Tabela 5 - Valores mínimo, máximo e médio (negrito entre parentes) das apatitas estudadas. -----	34

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE TABELA	xii
CAPÍTULO 1	2
1 INTRODUÇÃO	2
1.1 APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA	2
1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL	2
1.3 GEOLOGIA DA PROVÍNCIA CARAJÁS	3
1.3.1 Domínio Carajás	4
1.3.2 Domínio Rio Maria	6
1.4 PROBLEMÁTICA	8
1.5 OBJETIVOS	10
1.6 MATERIAIS E MÉTODOS	10
1.6.1 Pesquisa Bibliográfica	10
1.6.2 Confecção de seções polidas	11
1.6.3 Análises de microsonda eletrônica	11
CAPÍTULO 2	13
2 LOCALIZAÇÃO DAS ROCHAS ESTUDADAS	13
2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS E PETROGRÁFICOS	16
2.1.1 Suíte Sanukitoide Rio Maria	16
2.1.2 Trondhjemitó Mogno	17
2.1.3 Leucogranodiorito Nova Canadá	17
2.1.4 Granito Seringa	18
2.1.5 Granito Antônio Vicente	18
CAPÍTULO 3	23
3 RESULTADOS	23

3.1	ASPECTOS MORFOLÓGICOS.....	23
3.2	GEOQUÍMICA	26
3.2.1	Elementos maiores e menores	26
3.2.2	Elementos-traço	28
3.2.3	Diagramas geoquímico	35
CAPÍTULO 4		39
4	DISCUSSÃO	39
4.1	ZONEAMENTO COMPOSICIONAL	39
4.2	CARACTERÍSTICA DAS FONTES DOS MAGMAS SANUKITOIDES	40
4.3	APATITA COMO INDICADOR METALOGENÉTICO	42
CAPÍTULO 5		43
5	CONCLUSÕES	43
REFERÊNCIAS		44
ANEXOS		55
ANEXO 1		56

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO E LOCALIZAÇÃO DA ÁREA

Inclusa no Domínio Rio Maria (DRM, Vasquez *et al.* 2008), porção sul da Província Carajás, a Suíte Sanukitoide Rio Maria (Oliveira *et al.* 2009, 2010) é composta por granodioritos e rochas máficas e intermediárias associadas (Figura 1). Possui grandes exposições a norte da cidade de Redenção, a sul de Rio Maria, a leste da localidade de Bannach e nordeste de Xinguara, porção SE do Cráton Amazônico, sendo intrusiva em *greenstones* do Supergrupo Andorinhas, no Tonalito Arco Verde e no Complexo Tonalítico Caracol (Althoff *et al.* 2000; Medeiros & Dall’Agnol 1988; Oliveira *et al.* 2009). Outras rochas granodioríticas correlacionáveis aos sanukitoides Rio Maria foram descritas nas regiões de Água Azul do Norte (Gabriel 2012; Santos *et al.* 2013), Ourilândia do Norte (Leite-Santos & Oliveira 2016), Serra do Inajá (Rolando & Macambira 2003) e Xingu (Avelar *et al.* 1999; Lamarão *et al.* 2012), todas inseridas nos domínios da Província Carajás.

Os sanukitoides Rio Maria são rochas metaluminosas, de afinidade cálcio-alcálica e com enriquecimento acentuado em Mg, Cr e Ni em relação a outras rochas granodioríticas da região. Apresentam epidoto primário, zircão, allanita, titanita, apatita e magnetita como principais fases acessórias. Datações U-Pb e Pb-Pb em zircão definiram idades de cristalização de 2,87 Ga para essas rochas (Pimentel & Machado 1994; Macambira & Lancelot 1996; Oliveira *et al.* 2009).

A Suíte Guarantã (Almeida *et al.* 2010, 2013), inserida também no DRM, apresenta fortes similaridades petrográficas e geoquímicas com as rochas sanukitoides Rio Maria. É formada pelos plutons Guarantã, Aluzona e Trairão, localizados na região de Pau D’Arco, porção sul do DRM. Almeida *et al.* (2010) admitem que as rochas da Suíte Guarantã sejam produto da mistura, em diferentes proporções, de líquidos trondhjemíticos e graníticos com altos conteúdos de Ba e Sr afins dos sanukitoides. As rochas da Suíte Guarantã são metaluminosas a levemente peraluminosas com enriquecimento acentuado em Ba e Sr em comparação com outros granitoides arqueanos do DRM. Datações U-Pb e Pb-Pb em zircão definiram idades em torno de 2,87 Ga para esta suíte (Almeida *et al.* 2010, 2013).

Devido aos poucos trabalhos de química mineral desenvolvidos nas rochas sanukitoides das regiões mencionadas (Oliveira *et al.* 2010), resolveu-se ampliar esse tipo de estudo analisando por microsonda eletrônica cristais de apatita presentes nos sanukitoides que afloram nas regiões de Rio Maria, Bannach e Ourilândia do Norte. Assim como o zircão,

a apatita é um mineral geralmente precoce na ordem de cristalização de rochas granitoides e tem fornecido informações petrológicas e metalogenéticas similares (Belousova *et al.* 2001, 2002; Bruand *et al.* 2014, 2015; Chu *et al.* 2009; Cao *et al.* 2011; Ding *et al.* 2015; Fonseca 2016; Li *et al.* 2017; Nery *et al.* 2016; Sha & Chappell 1999).

Para fins comparativos, foram analisadas apatitas do Trondhjemito Mogno ($2,96 \pm 0,02$ Ga (Pb-Pb e LA-MC-ICPMS em zircão; Almeida *et al.* 2011) ocorrente na região sudeste de Bannach (Guimarães *et al.* 2010), de leucogranodioritos ricos em Ba e Sr da região de Nova Canadá (2,87 Ga; Almeida *et al.* 2010, 2013), Província Carajás (Leite-Santos 2014), comumente equiparados às rochas sanukitoides (Bruand *et al.* 2014, 2015), bem como do granito paleoproterozoico Seringa (Paiva Jr. *et al.* 2011) localizado entre as cidades de Água Azul do Norte e Ourilândia do Norte (Figura 1). Apatitas de rochas evoluídas do granito especializado Antônio Vicente (Teixeira *et al.* 2002, 2005), pertencente à Província Estanífera do Sul do Pará (Abreu & Ramos 1974), estudadas por Nery *et al.* (2016), integram comparativamente alguns diagramas geoquímicos apresentados.

Os objetivos deste trabalho foram: (1) investigar morfológica e composicionalmente cristais de apatitas da Suíte Sanukitoide Rio Maria, das rochas granodioríticas ricas em Ba e Sr tidas como seus equivalentes e do Trondhjemito Mogno, todas arqueanas e pertencentes ao Domínio Rio Maria; (2) compará-las com apatitas dos granitos paleoproterozoicos Seringa e Antônio Vicente, localizados neste mesmo domínio tectônico, sendo o primeiro oxidado e isento de mineralizações e o segundo reduzido e portador de cassiterita; (3) tecer comentários petrológicos e metalogenéticos com base na composição dessas apatitas.

Esta dissertação foi elaborada em cinco capítulos. No Capítulo I, são sumarizados contexto regional e aspectos geológicos da Província Carajás, problemática, objetivos e metodologias utilizadas para obtenção dos resultados. O Capítulo II inclui a localização das rochas estudadas e seus aspectos geológicos e petrográficos. No Capítulo III são apresentados os resultados obtidos e nos Capítulos IV e V são feitas as discussões e apresentadas as conclusões, respectivamente.

1.2 CONTEXTO GEOLÓGICO REGIONAL

O Cráton Amazônico é constituído por terrenos Arqueanos e Proterozoicos, sendo subdividido em províncias geocronológicas distintas a partir de assembleias litológicas, *trends* estruturais e histórias geológicas particulares e distintas em relação às províncias adjacentes (Santos *et al.* 2000; Tassinari & Macambira 1999, 2004), dispostas em torno de um núcleo arqueano denominado de Província Amazônia Central (>2,5 Ga). Tassinari & Macambira

(2004) consideram que a Província Amazônia Central é formada por dois grandes blocos tectônicos: Carajás e Xingu-Iricoumé. Entretanto, Santos *et al.* (2000) baseando-se na interpretação de novos dados U-Pb e Sm-Nd obtidos na porção ocidental e central do cráton, e na reavaliação de dados geocronológicos disponíveis na literatura, propuseram mudanças cartográficas e evolutivas, admitindo o bloco Carajás como uma província independente formada durante o arqueano e com extensão até o Amapá.

As províncias geocronológicas definidas por Tassinari e Macambira (1999, 2004) são alongadas na direção NW-SE e resultantes de retrabalhamentos e acresção crustal durante o Paleo e o Mesoproterozoico ao longo de cinturões móveis (Cordani & Sato 1999; Santos *et al.* 2000; Tassinari & Macambira 1999, 2004). Essas províncias foram denominadas Amazônia Central (>2,5 Ga), Maroni-Itacaiúnas (2,2 – 1,95 Ga), Ventuari-Tapajós (1,95 – 1,80 Ga), Rio Negro-Juruena (1,88 – 1,55 Ga), Rondoniana-San Ignácio (1,55 – 1,30 Ga) e Sunsás (1,30 – 1,0 Ga).

1.3 GEOLOGIA DA PROVÍNCIA CARAJÁS

A Província Carajás (PC) está inclusa na Província Amazônia Central de Tassinari e Macambira (2004), porção sudeste do Cráton Amazônico (Figura 1). Santos *et al.* (2000) assumiram que esta província formada inteiramente durante o arqueano se prolongaria até o sul do Amapá. Porém estudos posteriores na região de Bacajá, ao norte de Carajás, mostraram que este domínio formou-se essencialmente durante o paleoproterozoico, relacionado ao Transamazônico e não ao arqueano (Feio 2011; Macambira *et al.* 2001; Vasquez *et al.* 2005, 2008). Com base nisso, modelos mais recentes delimitam a Província Carajás a norte pelo Domínio Bacajá, correspondente ao extremo sul da província Maroni-Itacaiunas.

Araújo & Maia (1991), Araújo *et al.* (1994) e Costa *et al.* (1995), definiram na porção leste do Bloco Carajás três domínios tectônicos: Cinturão de Cisalhamento Itacaiúnas (CCI) a norte, Cinturão de Cisalhamento Pau D'arco (CCPD) a sul, e o Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria (TGGRM) representando um domínio tectonicamente preservado entre eles. Althoff *et al.* (1991, 1995), Dall'Agnol *et al.* (1997) e Rolando & Macambira (2002, 2003), consideraram o CCPD como um prolongamento do TGGRM até a região de Redenção e Serra do Inajá, dividindo a Província Carajás em dois domínios: o TGGRM e o Bloco Carajás. O Bloco Carajás é constituído pela Bacia Carajás a norte e, informalmente, o Domínio de Transição a sul, interpretado como uma possível extensão do Domínio Rio Maria, afetado pelos eventos neoarqueanos que moldaram a Bacia Carajás (Dall'Agnol *et al.* 1997, 2006, 2013; Feio 2011). O TGGRM é formado pelo Supergrupo Andorinhas (*greenstone belts*) e

por mais cinco grupos de granitoides arqueanos (Althoff *et al.* 2000; Almeida *et al.* 2010, 2011; Dall’Agnol *et al.* 2006; Feio & Dall’Agnol 2012; Leite 2001; Leite *et al.* 2004; Macambira & Lafon 1995; Oliveira *et al.* 2009; Pimentel & Machado 1994).

Vasquez *et al.* (2008), seguindo a proposta de Santos *et al.* (2000), definiram dois domínios na Província Carajás: o Domínio Carajás, formado por rochas meso a neoarqueanas (3,0 – 2,76 Ga) e comparativamente menos estudado, e o Domínio Rio Maria (DRM), antigo TGGRM, de idade mesoarqueana (3,0 – 2,87 Ga). Feio (2011) admitiu a existência de um Subdomínio de Transição (SDT) situado entre a Bacia Carajás e o DRM. O limite do SDT com o DRM estaria situado a sul da cidade de Xinguara ou a norte do *greenstone belts* de Sapucaia (Dall’Agnol *et al.* 2006; Vasquez *et al.* 2008) e se prolongaria lateralmente até a região de São Félix do Xingu. Feio (2011) considera que este subdomínio teve uma evolução contrastante com a do DRM, sugerindo a definição de um possível novo bloco arqueano distinto do DRM e do Domínio Carajás. Dall’Agnol *et al.* (2013) adotaram as denominações de Domínio Canaã dos Carajás e Domínio Sapucaia para as porções norte e sul deste Subdomínio por entenderem que o mesmo não corresponderia a uma crosta arqueana homogênea.

1.3.1 Domínio Carajás

O Domínio Carajás é subdividido em Bacia Carajás, a norte, e Subdomínio de Transição, a sul. A Bacia Carajás foi objeto dos maiores estudos por conter as principais jazidas da região, resultando em propostas estratigráficas que evoluíram ao longo do tempo (Araújo & Maia 1991; DOCEGEO 1988; Gibbs *et al.* 1986; Machado *et al.* 1991; Nogueira *et al.* 1995). O embasamento desse domínio ainda não é bem caracterizado devido ao recobrimento pelas unidades que compõe a bacia, no entanto as unidades neoarqueanas que compõem a bacia são bem descritas.

A principal unidade litoestratigráfica é o Supergrupo Itacaiúnas (Dall’Agnol *et al.* 2006; Machado *et al.* 1991) constituído por um vulcanismo máfico e formações ferríferas. Apresentou idades entre 2745 ± 1 Ma e 2776 ± 12 Ma (Tallarico *et al.* 2005), seguido do Complexo Luanga (Machado *et al.* 1991) e de várias intrusões de granitos subalcalinos (Complexo Granítico Estrela, Granito Serra do Rabo, Igarapé Gelado e Old Salobo; Barros *et al.* 2004, 2009; Machado *et al.* 1991; Sardinha *et al.* 2006), sucedidos por uma extensa sedimentação representada pela Formação Águas Claras (Nogueira *et al.* 2006).

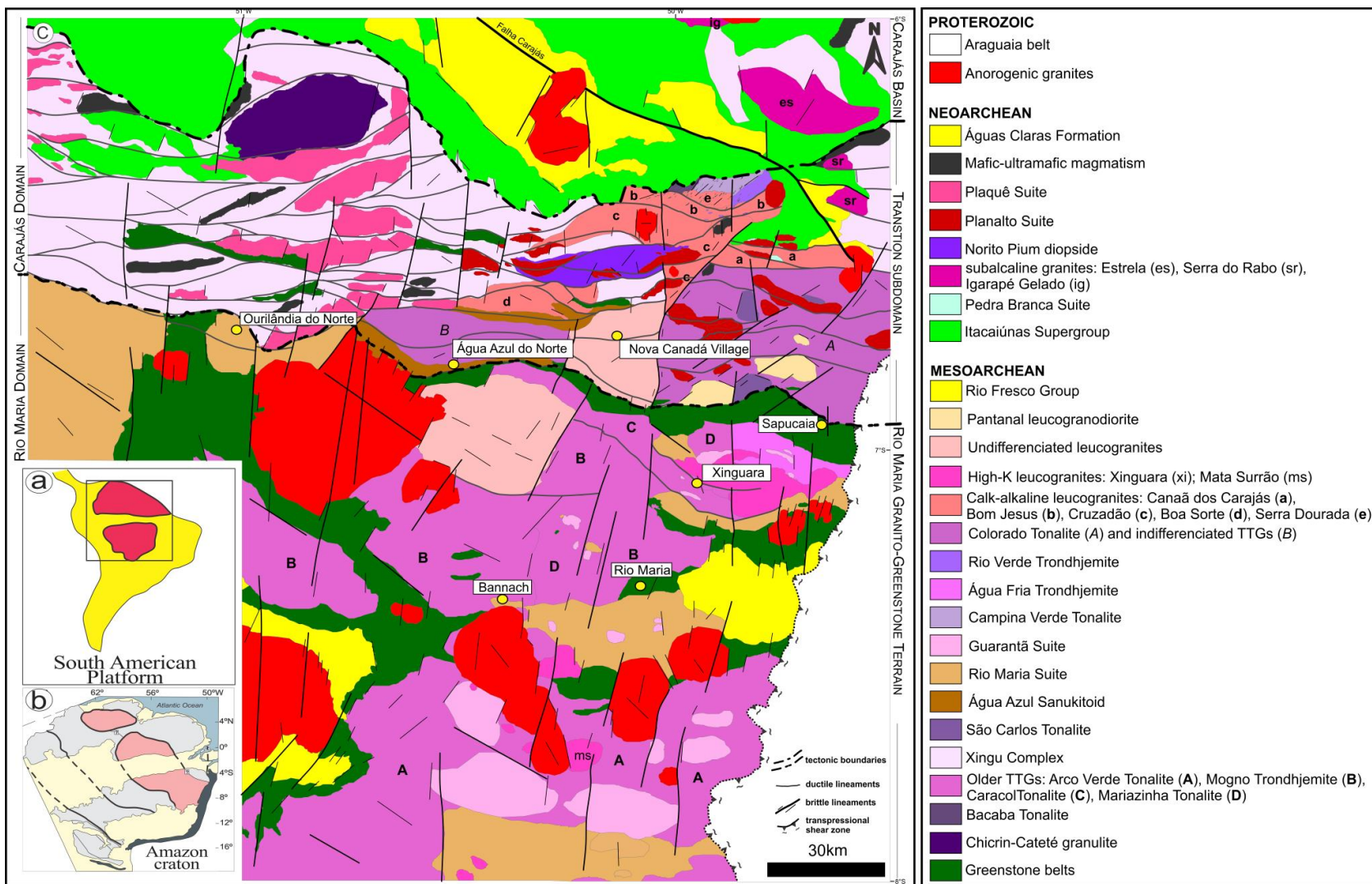


Figura 1 - (a) Cráton Amazônico e sua posição em relação à plataforma Sul Americana: (b) Localização da Província Amazônia Central em relação ao Cráton Amazônico (Tassinari & Macambira 1999, 2004). (c) Mapa geológico da Província Carajás, com as ocorrências da Suíte Sanukitoide Rio Maria. Modificado de Vasquez *et al.* (2008), Oliveira *et al.* (2010), Feio *et al.* (2013), Guimarães *et al.* (2010), Santos & Oliveira (2012) e Gabriel & Oliveira (2014).

1.3.2 Domínio Rio Maria

O Domínio Rio Maria (Figura 1; Vasquez *et al.* 2008), inserido na porção sul da Província Carajás, tem idade mesoarqueana e é constituído por *greenstone belts* arqueanos do Supergrupo Andorinhas (2,98 – 2,90 Ga) e por suítes TTG's mais antigas (Tonalito Arco Verde, 2,98 a 2,93 Ga; Trondhjemitó Mogno, ~2,96 Ga; Tonalito Caracol, ~2,93 Ga e Tonalito Mariazinha, ~2,92 Ga). Após um intervalo de 50 Ma, este Domínio foi novamente afetado por intensa atividade magmática com a geração da Suíte Sanukitoide Rio Maria (2,87 Ga; Granodiorito Rio Maria, Quartzo-diorito Parazônia, Granito Rancho de Deus e rochas máficas associadas), rochas TTG's mais jovens representadas pelo Trondhjemitó Água Fria (~2,86 Ga), leucogranodioritos ricos em Ba e Sr (2,87 Ga; Suíte Garantã, Granodiorito Grotão e rochas análogas), e leucogranitos potássicos (~2,86 Ga; Granitos Xinguara, Mata Surrão e rochas similares) (Almeida *et al.* 2011, 2013; Oliveira *et al.* 2009, 2011; Santos *et al.* 2013).

1.3.2.1 TTG's antigos

Os granitoides desta série são representados pelo Tonalito Arco Verde (Althoff *et al.* 1995, 2000; Almeida *et al.* 2011; Macambira & Lancelot 1996), Trondhjemitó Mogno (Almeida *et al.* 2011; DOCEGEO 1988), Tonalito Caracol (Leite *et al.* 2004) e Tonalito Mariazinha (Almeida *et al.* 2011; Guimarães 2009; Leite *et al.* 2004); apresentam características químicas similares e diferem quanto a idade de cristalização.

O Tonalito Arco Verde apresentou idade U-Pb em zircão de $2957 \pm 25/21$ Ma (Macambira 1992), posteriormente confirmadas por Rolando & Macambira (2002; 2948 ± 7 Ma e 2981 ± 8 Ma Pb-Pb em zircão) e Almeida *et al.* (2011; 2937 ± 3 Ma Pb-Pb em zircão).

O Trondhjemitó Mogno ocorre principalmente na porção norte do DRM e é composto por trondhjemitos, e subordinadamente tonalitos e granodioritos. Estratigraficamente é intrusivo nos *greenstone belts* e nos sanukitoides Rio Maria (Althoff *et al.* 2000; Dall'Agnol *et al.* 2006; Leite *et al.* 2004; Souza 1994; Souza *et al.* 2001; Vasquez *et al.* 2008). Apresenta foliação pouco penetrativa ou bem definida por bandamento composicional (Neves & Vale 1999). Apresentou idades de 2857 ± 13 e 2900 ± 21 Ma (Macambira *et al.* 2000) e $2,96 \pm 0,02$ Ga (Pb-Pb e LA-MC-ICPMS em zircão; Almeida *et al.* 2011).

O Complexo Tonalítico Caracol ocorre a noroeste da cidade de Xinguara e definido por granitoides de composição tonalítica, subordinadamente trondhjemitica, contendo

enclaves de microtonalito e de rochas tipo *greenstone belts* (Leite *et al.* 2004). Os granitoides dessa unidade forneceram idades de 2,94 a 2,92 Ga (Leite *et al.* 2004).

O Tonalito Mariazinha foi individualizado por Guimarães (2009), que identificou na porção centro-oeste de ocorrência do Trondhjemitó Mogno (Almeida *et al.* 2011; Guimarães *et al.* 2010) uma associação arqueana distinta. As rochas do Tonalito Mariazinha apresentam foliação NE-SW e N-S divergente da estruturação local que mostram direção NW-SE e E-W. Contém enclaves máficos e são cortadas pelo Granodiorito Grotão e veios de leucogranitos. Datações Pb-Pb e U-Pb em zircão indicaram idades de 2,92 Ga (Almeida *et al.* 2011).

1.3.2.2 *Suíte Sanukitoide Rio Maria*

A suíte sanukitoide Rio Maria apresenta grandes exposições a norte da cidade de Redenção, a sul de Rio Maria, a leste da localidade de Bannach e a sul e nordeste de Xinguara, porção SE do Cráton Amazônico, sendo intrusiva em *greenstones belts* do Supergrupo Andorinhas, no Tonalito Arco Verde e no Complexo Tonalítico Caracol (Althoff *et al.* 2000; Oliveira *et al.* 2009, 2010). É formada predominantemente por rochas granodioríticas, com monzogranitos subordinados; rochas intermediárias (quartzo dioritos, quartzo monzodioritos) e acamadas, interpretadas como rochas cumuláticas, foram identificadas localmente às proximidades das cidades de Bannach e Rio Maria. As rochas granodioríticas, objeto deste estudo, apresentam epidoto primário, zircão, allanita, titanita, apatita e magnetita como principais fases acessórias. Datações U-Pb e Pb-Pb em zircão definiram idades de cristalização de 2,87 Ga para essas rochas (Macambira & Lancelot 1996; Oliveira *et al.* 2009; Pimentel & Machado 1994).

Os sanukitoides Rio Maria mostram afinidades com as séries cálcio-alcálicas, porém pertencem à série de granitoides enriquecidos em Mg, com baixos conteúdos de Al₂O₃ e K₂O, além de enriquecimento em Mg, Cr e Ni. Exibem, ainda, teores elevados de Sr, Ba, P e ETRL, além de um forte fracionamento de ETRP e fraca ou ausente anomalia de Eu (Dall'Agnol *et al.* 2006; Oliveira *et al.* 2009, 2010; Santos *et al.* 2013).

1.3.2.3 *TTG's mais jovens*

O Trondhjemitó Água Fria representa a geração mais jovem de TTG's do DRM, com idades de 2,86 Ga (Pb-Pb em zircão; Leite *et al.* 2004) e 2,84 Ga (LA-MC-ICPMS; Almeida *et al.* 2011). Apresenta bandamento subvertical NW-SE e WNW-ESSE, enclaves tonalíticos e associa-se concordantemente ao Granito Xinguara (Leite 2001).

Leucogranodioritos-granitos ricos em Ba-Sr pertencentes à Suíte Guarantã são representados pelos plutons Guarantã, Azulona e Trairão; apresentam algumas similaridades com as rochas sanukitoides Rio Maria. Geoquimicamente são pobres em MgO, TiO₂, CaO, P₂O₅, FeO_t e K₂O e enriquecidas em Al₂O e Na₂O, Ba e Sr; mostram maior fracionamento de ETRP em relação aos ETRL e anomalias de Eu ausentes ou pouco marcantes (Almeida *et al.* 2010; Dias 2009; Santos *et al.* 2013). Datações U-Pb e Pb-Pb em zircão definiram idades em torno de 2,87 Ga (Almeida *et al.* 2010, 2013). Almeida *et al.* (2010) admitem que as rochas da Suíte Guarantã sejam produto da mistura, em diferentes proporções, de líquidos trondhjêmíticos e líquidos graníticos com altos conteúdos de Ba e Sr afins dos sanukitoides.

Leucogranitos potássicos são representados no Domínio Rio Maria pelos granitos Xinguara, Mata Surrão e pequenos *stocks* graníticos (Althoff *et al.* 2000; Almeida *et al.* 2013; Duarte *et al.* 1991; Leite & Dall'Agnol 1997; Leite 2001). O Granito Xinguara, intrusivo em *greenstone belts*, no Complexo Tonalítico Caracol, no Tonalito Mariazinha e nos sanukitoides Rio Maria, forneceu idade similar ao do Trondhjemitó Águas Frias (2,86 Ga; Pb-Pb em zircão), indicando contemporaneidade entre essas duas unidades. O Granito Mata Surrão é intrusivo no Tonalito Arco Verde (Althoff *et al.* 2000; Duarte & Dall'Agnol 1996) e apresentou idades de 2,87 Ga (Pb-Pb em rocha total; Lafon *et al.* 1994 e Pb-Pb em zircão; Althoff *et al.* 1998).

1.3.2.4 Granitos anorogênicos tipo A

Durante o Paleoproterozoico, em torno de 1,88 Ga, o DRM foi afetado por um intenso magmatismo granítico anorogênico (Almeida *et al.* 2006; Dall'Agnol *et al.* 1999, 2005, 2006; Dall'Agnol & Oliveira 2007; Lamarão *et al.* 2012; Machado *et al.* 1991; Paiva Jr. 2009; Teixeira *et al.* 2002, 2005), representado pelos granitos das Suítes Jamon (plutons Jamon, Musa, Redenção, Marajoara, Bannach e Manda Saia), Serra dos Carajás (plutons Pojuca, Cigano e Central) e Velho Guilherme (plutons Antônio Vicente, Velho Guilherme, Benedita, Ubim-sul, Serra da Queimada, Rio Xingu, Mocambo e Bom Jardim); diques félsicos e máficos, localmente compostos e contemporâneos aos granitos anorogênicos, seccionam tanto as unidades arqueanas quanto os granitos paleoproterozoicos.

1.4 PROBLEMÁTICA

No Domínio Rio Maria existe uma grande ocorrência de rochas sanukitoides com características petrográficas e geoquímicas similares. Datações obtidas nessas rochas em diferentes áreas de ocorrência e metodologias forneceram um padrão geocronológico uniforme, com idades em torno de 2,87 Ga (Dall'Agnol *et al.* 1999; Macambira & Lancelot

1996; Pimentel & Machado 1994; Rolando & Macambira 2002, 2003). Entretanto, estudos de química mineral nessas rochas ainda são limitados (Oliveira *et al.* 2010). Tendo em vista que o conhecimento da composição química de um mineral magmático pode fornecer informações importantes a respeito de sua rocha-fonte e das condições reinantes durante sua cristalização (Belousova *et al.* 2002; Sha & Chappell 1999), torna-se necessário a continuidade desse tipo de estudo envolvendo outros minerais comuns a essas rochas.

Cristais de apatita ($\text{Ca}_5\text{PO}_4)_3(\text{F},\text{OH},\text{Cl})$ estão presentes na maioria das rochas magmáticas como mineral acessório. Possuem a capacidade de incorporar em sua estrutura conteúdos variáveis de elementos terras raras (ETR) e outros importantes elementos-traço como Na, K, Mn, F, Cl, Sr, Y, Pb, Ba, Th, U, V e As, o que permite utilizá-la como um bom indicador petrológico e metalogenético de sua rocha hospedeira (Belousova *et al.* 2001, 2002; Bruand *et al.* 2014, 2015; Chu *et al.*, 2009; Cao *et al.* 2011; Ding *et al.* 2015; Fonseca 2016; Li *et al.* 2017; Nery *et al.* 2016; Sha & Chappell 1999). Além disso, alguns estudos têm demonstrado que apatitas são sensíveis a processos de mistura de magmas, $f\text{O}_2$, circulação de fluidos ou condições de P-T (Belousova *et al.* 2002; Miles *et al.* 2013; Tepper & Kuehner 1999).

Considerando que: (1) rochas sanukitoides apresentam assinaturas geoquímicas e isotópicas que indicam tanto uma origem mantélica quanto a presença de importante componente crustal na sua origem (Bruand *et al.* 2014; Halla 2005; Martin *et al.* 2009; Shirley & Hanson 1984); (2) que sua composição geoquímica pode fornecer informações complementares para a história petrogenética de suas rochas hospedeiras; (3) que a apatita é uma fase acessória comum nas rochas da Suíte Sanukitoide Rio Maria, foram desenvolvidos estudos de química mineral em cristais de apatita pertencentes a esta importante unidade magmática do sudeste do Pará. Considerando, ainda, que leucogranodioritos ricos em Ba e Sr, comuns no Domínio Rio Maria, tem sido equiparados às rochas sanukitoides (Bruand *et al.* 2014, 2015), suas apatitas foram também estudadas e comparadas geoquimicamente com as das rochas sanukitoides.

Este estudo envolveu ainda apatitas do Trondhjemito Mogno, importante unidade arqueana do Domínio Rio Maria, bem como apatitas dos granitos paleoproterozoicos Seringa e Antônio Vicente localizados neste mesmo domínio, sendo o primeiro oxidado e isento de mineralizações e o segundo reduzido e portador de cassiterita

1.5 OBJETIVOS

Esta dissertação teve como principal objetivo o estudo morfológico e composicional de cristais de apatita de granodioritos da Suíte Sanukitoide Rio Maria, aflorante no Domínio Rio Maria, Província Carajás, já estudada sob o ponto de vista petrográfico, geoquímico e geocronológico (Oliveira *et al.* 2009, 2010; Santos *et al.* 2013; Santos & Oliveira 2016).

Objetivos específicos:

- 1- Caracterizar os aspectos morfológicos, definir as assinaturas geoquímicas, zoneamentos composicionais, presença de inclusões e alterações dos cristais de apatita dos Sanukitoides Rio Maria;
- 2- Estudar morfológica e composicionalmente apatitas de idade arqueana dos leucogranodioritos ricos em Ba-Sr e do Trondhjemitó Mogno, bem como do granito paleoproterozoico Seringa;
- 3- Comparar esses dados com o das apatitas do Granito estanífero Antônio Vicente, pertencente à Província Estanífera do Sul do Pará (Nery *et al.* 2016);
- 4- Tecer considerações petrológicas e metalogenéticas acerca de cada grupo de apatita estudado e de suas rochas hospedeiras.

1.6 MATERIAIS E MÉTODOS

1.6.1 Pesquisa Bibliográfica

Foram consultadas:

- a) Publicações versando sobre a Província Carajás e rochas graníticas envolvidas neste estudo (p.ex. Althoff *et al.* 2000; Almeida *et al.* 2010; Dall’Agnol *et al.* 1999, 2006; Oliveira *et al.* 2009, 2010; Vasquez *et al.* 2008), incluindo dissertações, teses e artigos;
- b) Livros e apostilas envolvendo princípios básicos e aplicações em MEV e Microsonda Eletrônica (p. ex. Friel 2003; Reed 1996);
- c) Publicações abordando o estudo composicional de apatita utilizando-se de microsonda eletrônica (Belousova *et al.* 2001, 2002; Bruand *et al.* 2014, 2015; Bouzari *et al.* 2016; Chu *et al.* 2009; Ding *et al.* 2015; Mao *et al.* 2016; Sha & Champell 1999; Kempe & Götze 2002).

1.6.2 Confeção de seções polidas

Foram confeccionadas na Oficina de Preparação de Amostras (OPA) do IG-UFGA seções polidas contendo concentrados de apatita das rochas mencionadas na Tabela 1. Lâminas polidas pertencentes ao acervo do Grupo de Pesquisa Petrologia de Granitoides (GPPG) foram utilizadas nos estudos petrográficos e nas análises de microsonda eletrônica.

1.6.3 Análises de microsonda eletrônica

As análises quantitativas das apatitas foram realizadas em uma Microsonda Eletrônica JEOL, modelo JXA-8230, do Laboratório de Microanálises do IG-UFGA. Os elementos analisados, padrões e cristais analisadores da microsonda em 15 kV foram, respectivamente: F – fluorita – LDE1, Na – sodalita – TAP, Mg – hornblenda – TAP, Al – hornblenda – TAP, Si – hornblenda – TAP, Ca – apatita – PETJ, K – biotita – PETJ, Cl – sodalita – PETH, P – apatita – PETJ, S – celestina - PETH. Em 20 kV foram, respectivamente: Sr – celestina – TAP, Fe – Fe₃O₄ – PETJ, Mn – rodonita – PETJ, Ba – barita – LIFH, Ti – rutilo – PETJ, Y – Y-Al-granada – PETJ, V – vanadinita – PETJ, Ce – CePO₄ – PETJ, La – LaPO₄ – PETJ, Nb – Nb₂O₅ – PETJ, Yb – YbPO₄ – LIFH, Gd – GdPO₄ – LIFH, Eu – EuPO₄ – LIFH, Sm – SmPO₄ – LIFH, Pr – PrPO₄ – LIFH.

A Tabela 1 relaciona as amostras utilizadas neste estudo. As análises de microsonda foram tratadas no *software Excel 2007* e posteriormente no *software GCDkit 3.0*.

Tabela 1 - Unidades e amostras selecionadas para este estudo.

Unidade	Local/Referência	Amostra	Rocha
	Rio Maria (Oliveira <i>et al.</i> 2009, 2010)	ADR-4B	Granodiorito
Suíte Sanukitoide Rio Maria	Bannach (Oliveira <i>et al.</i> 2009, 2010)	FRM-27; FRM-100	Granodiorito
	Ourilândia do Norte (Santos <i>et al.</i> 2013)	MC-49	Granodiorito
Trondhjemitó Mogno	Bannach (Almeida <i>et al.</i> 2011)	MASF-28	Trondhjemitó
Suíte Guarantã	Ourilândia do Norte (Leite-Santos 2014)	PDE-106	Leucogranodiorito alto Ba-Sr
Granito Seringa	Ourilândia do Norte (Paiva Jr. <i>et al.</i> 2011)	AC-59; AC-107	Monzogranito
Granito Antônio Vicente (Sn)	Região do Xingu (Teixeira 1999)	SLA-06DT	Sienogranito

CAPÍTULO 2

2 LOCALIZAÇÃO DAS ROCHAS ESTUDADAS

As rochas deste estudo (Figuras 2 e 3) localizam-se no Domínio Rio Maria (Vasquez *et al.* 2008), Província Carajás. Foram selecionados cristais de apatita da Suíte Sanukitoide Rio Maria que ocorre ao sul da cidade de Rio Maria (ADR-4B), a nordeste de Bannach (FRM-27, 100) e a leste de Ourilândia do Norte (MC-49). Para fins comparativos foram estudadas apatitas do Trondhjemito Mogno aflorante a sudeste de Bannach (MASF-28), do Leucogranodiorito Nova Canadá rico em Ba-Sr, localizado na região de Água Azul do Norte (PDE-106), e do granito paleoproterozoico Seringa (AC-59, 107), aflorante a sudeste de Ourilândia do Norte (Figura 3). Cristais de apatita do granito paleoproterozoico Antônio Vicente (SLA-06-DT), mineralizado em Sn e pertencente à Província Estanífera do Sul do Pará, região do Xingu (Abreu & Ramos 1974; CPRM/DNPM 1997; Dall’Agnol *et al.* 1993; Teixeira *et al.* 2002, 2005), integram comparativamente alguns diagramas geoquímicos.

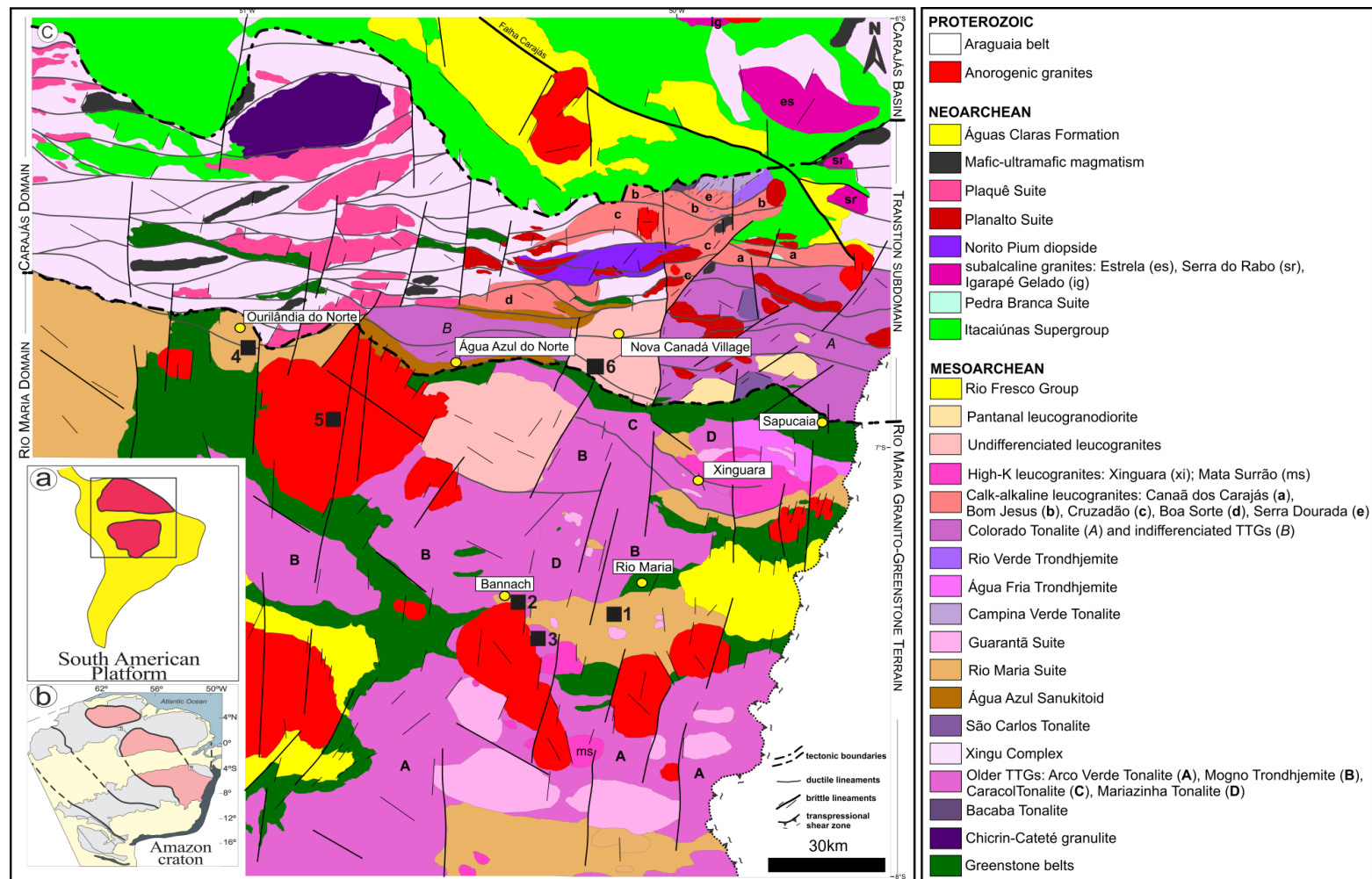


Figura 2 - (a) Cráton Amazônico e sua posição em relação à plataforma Sul Americana: (b) Localização da Província Carajás em relação ao Cráton Amazônico (Tassinari & Macambira 1999, 2004). (c) Mapa geológico da Província Carajás, com as ocorrências da Suíte Sanukitoide Rio Maria, objeto deste estudo. Modificado de Vasquez *et al.* (2008), Oliveira *et al.* (2010), Feio *et al.* (2013), Guimarães *et al.* (2010), Santos & Oliveira (2012) e Gabriel & Oliveira (2014). Quadrados pretos=Amostras estudadas neste trabalho: 1=ADR-4B;2=FRM-27, 100; 3=MASF-28; 4=MC-49; 5=AC-59, 107; 6=PDE-106.

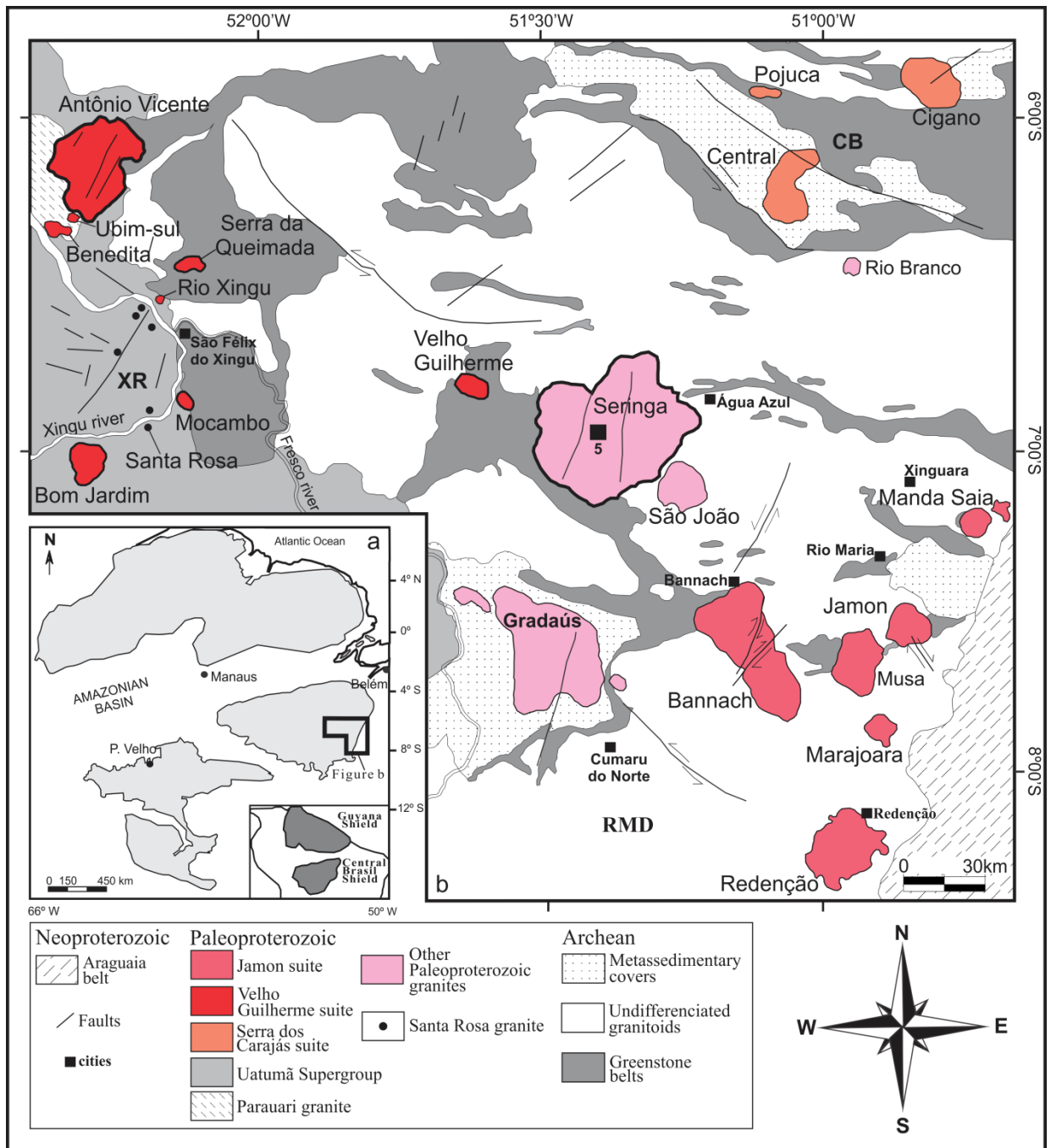


Figura 3 - (a) Esboço do Cráton Amazônico com a localização da área de estudo. (b) Mapa geológico simplificado da Província Carajás com a distribuição dos granitos anorogênicos paleoproterozoicos. Em negrito, granitos Antônio Vicente e Seringa, estudados neste trabalho. RMD=Domínio Rio Maria. CB=Bacia Carajás. XR=Região do Xingu. Modificado de Dall'Agnol *et al.* (2005).

2.1 ASPECTOS GEOLÓGICOS E PETROGRÁFICOS

2.1.1 Suíte Sanukitoide Rio Maria

A Suíte Sanukitoide Rio Maria (Oliveira *et al.* 2009, 2010), apresenta ampla distribuição no DRM (Figura 2), com exposições a norte da cidade de Redenção, a sul de Rio Maria, a leste da localidade de Bannach e nordeste de Xinguara, porção SE do Cráton Amazônico. Os Sanukitoides Rio Maria são intrusivos em *greenstones* do Supergrupo Andorinhas, no Tonalito Arco Verde e no Complexo Tonalítico Caracol (Althoff *et al.* 2000; Medeiros & Dall’Agnol 1988, 2006; Oliveira *et al.* 2009, 2010). Outras rochas granodioríticas correlacionáveis aos Sanukitoides Rio Maria foram descritas nas regiões de Inajá (Rolando & Macambira 2003), Água Azul do Norte (Gabriel 2012; Santos *et al.* 2013), Ourilândia do Norte (Leite-Santos & Oliveira 2016) e Xingu (Avelar *et al.* 1999; Lamarão *et al.* 2012), todas inseridas nos domínios da Província Carajás. Os granodioritos Rio Maria e as rochas intermediárias (quartzo-dioritos e quartzo-monozodioritos) possuem características geoquímicas coincidentes com as das séries cálcico-alcálicas (Medeiros & Dall’Agnol 1988), porém se assemelham às séries de granitoides arqueanos ricos em Mg, com conteúdo relativamente baixo de Al₂O₃ e enriquecimento em Ba, Sr, Cr, Ni e elementos terras raras leves (Althoff *et al.* 1995, 2000; Leite *et al.* 2004; Oliveira *et al.* 2005, 2009, 2010), sendo geoquimicamente similares às séries sanukitoides arqueanas definidas por Stern *et al.* (1989). Os sanukitoides Rio Maria são formados predominantemente por granodioritos equigranulares, médios a grossos, esverdeados em decorrência da intensa saussuritização de seus plagioclásios (Figura 4A e B). Quartzo-dioritos e quartzo-monozodioritos formam pequenos corpos às proximidades da cidade de Bannach e mostram aspectos mineralógicos e texturais similares aos granodioritos. Anfibólio ± biotita ± epidoto magmático são as principais fases máficas. Zircão, apatita, magnetita, titanita e allanita são os acessórios primários dominantes (Oliveira *et al.* 2009; Santos *et al.* 2013). Os cristais de apatita ocorrem comumente como inclusões em anfibólios e biotita (Figura 4C e D). Na localidade de Ourilândia do Norte, Santos *et al.* (2013) classificou como Anfibólio-biotita Granodiorito (ABGrd) com textura equigranular média a grossa. Microscopicamente, essa unidade tem seus cristais de plagioclásio moderadamente saussuritizados (Figura 4E), além de hornblenda, biotita e epidoto magmático como as principais fases máficas (Figura 4F). A fase acessória é composta de zircão, allanita, apatita, opacos, epidoto magmático e titanita.

2.1.2 Trondhjemito Mogno

O Trondhjemito Mogno (Cordeiro & Saueressig 1980; Huhn *et al.* 1988) é uma das rochas arqueanas de maior expressão no Domínio Rio Maria. Ocorre no noroeste e sul de Xinguara e se estende até o sudeste de Bannach (Figura 2). Apresenta forte deformação com padrão estrutural NW-SE a E-W (Guimarães *et al.* 2010) e enclaves máficos. Plagioclásio (>56,0%) fortemente saussuritizado, quartzo anédrico (>31,0%) e álcali feldspato (<2,0%) na forma de cristais xenomórficos intersticiais finos a médios são as fases essenciais (Tabela 3). Biotita e epidoto magmático são as principais fases máficas, sendo notável a ausência de hornblenda (Figura 5A). Zircão, apatita, allanita, magnetita e titanita são os acessórios primários, e mica incolor, clorita, epidoto (substituindo o plagioclásio), hematita, goethita, pirita e calcopirita as fases secundárias (Almeida *et al.* 2011; Guimarães *et al.* 2010; Santos *et al.* 2013). Cristais de apatita ocorrem inclusos ou associados às fases máficas e, mais raramente, no plagioclásio (Figura 5B).

2.1.3 Leucogranodiorito Nova Canadá

Ocorre de forma expressiva na região de Água Azul do Norte (Figura 2), Domínio Sapucaia, sendo representado predominantemente por leucogranodioritos com leucomonzogranitos subordinados, fraca a moderadamente deformados (Leite-Santos 2014). Segue preferencialmente o *trend* regional NW-SE, com variações locais para NNE-SSW. Apresenta textura granular hipidiomórfica média a grossa, eventualmente protomilonítica. O plagioclásio (1,0 a 4,0 mm) é subédrico a anédrico, mostra contatos retos com a biotita, núcleos fracamente a intensamente saussuritizados e inclusões ocasionais de quartzo, biotita, opacos, apatita, allanita e zircão (Figura 5C). Cristais neoformados xenomórficos compõem uma matriz granoblástica fina, juntamente com quartzo e álcali feldspato. O álcali feldspato subédrico (1,0 a 6,0 mm) é representado pela microclina micropertítica. O quartzo (Qz1), inequigranular, fino a médio e com contatos irregulares entre si e com outros minerais, mostra forte extinção ondulante quando deformado. Cristais neoformados ocorrem como agregados policristalinos finos (Figura 5C). A biotita euédrica e pouco cloritizada (0,1 a 1,2 mm) é o ferromagnésiano mais abundante; forma agregados juntamente com epidoto, apatita, titanita e zircão (Leite-Santos 2014). Os cristais de apatita estudados formam comumente inclusões na biotita (Figura 5D).

2.1.4 Granito Seringa

Localiza-se a sudeste de Ourilândia do Norte (Figuras 3); apresenta forma subcircular e representa o maior pluton anorogênico da Província Carajás. É intrusivo em rochas arqueanas do Domínio Rio Maria e formado por rochas monzograníticas e sienograníticas com variações marcantes de textura e granulação. Os contatos entre o Granito Seringa e suas encaixantes são bruscos e bem marcados (Paiva Jr. *et al.* 2011). O biotita-anfibólio monzogranito (BAMZG) estudado é isotrópico e rosa avermelhado. Mostra textura granular hipidiomórfica grossa, localmente rapakivi. O quartzo (Qz1) ocorre como cristais subédricos a anédricos grossos, localmente contendo inclusões de opacos, zircão, apatita e plagioclásio, ou na forma de intercrescimentos granofíricos (Qz2). O álcali feldspato é pertítico e forma cristais anédricos a subédricos médios a grossos. No contato entre cristais pertíticos é comum a formação de albita intergranular. O plagioclásio (An₃₂₋₂₅) forma cristais subédricos médios a grossos com zoneamento normal (Figura 5E). O anfibólio, verde escuro a verde acastanhado, ocorre como cristais anédricos a subédricos, finos a grossos, contendo inclusões de zircão, apatita e opacos (Figura 5F). Mostra contatos retos com cristais de quartzo e, comumente, preenche os espaços entre eles, sugerindo cristalização posterior ou contemporânea ao quartzo. A biotita é creme amarelada a marrom escura e forma lamelas anédricas a subédricas, finas a médias, raramente cloritizada (Paiva Jr. *et al.* 2011). Os cristais de apatita estudados associam-se ou formam inclusões nos ferromagnesianos.

2.1.5 Granito Antônio Vicente

Apresenta forma subcircular e é intrusivo em rochas do Complexo Xingu, do Grupo São Sebastião, das Formações Sobreiro e Iriiri (Grupo Uatumã) e do Granito Parauarí (Teixeira 1999, Teixeira *et al.* 2002). É formado por rochas monzograníticas a sienograníticas afetadas por alterações tardi a pós-magmáticas em diferentes intensidades. As rochas sienograníticas foram individualizadas em alteradas e intensamente alteradas e são, juntamente com corpos de *greisens*, portadoras de mineralizações de Sn. Os cristais e apatita utilizados neste estudo pertencem à fácies sienogranítica e ocorrem como inclusões na biotita e no plagioclásio.

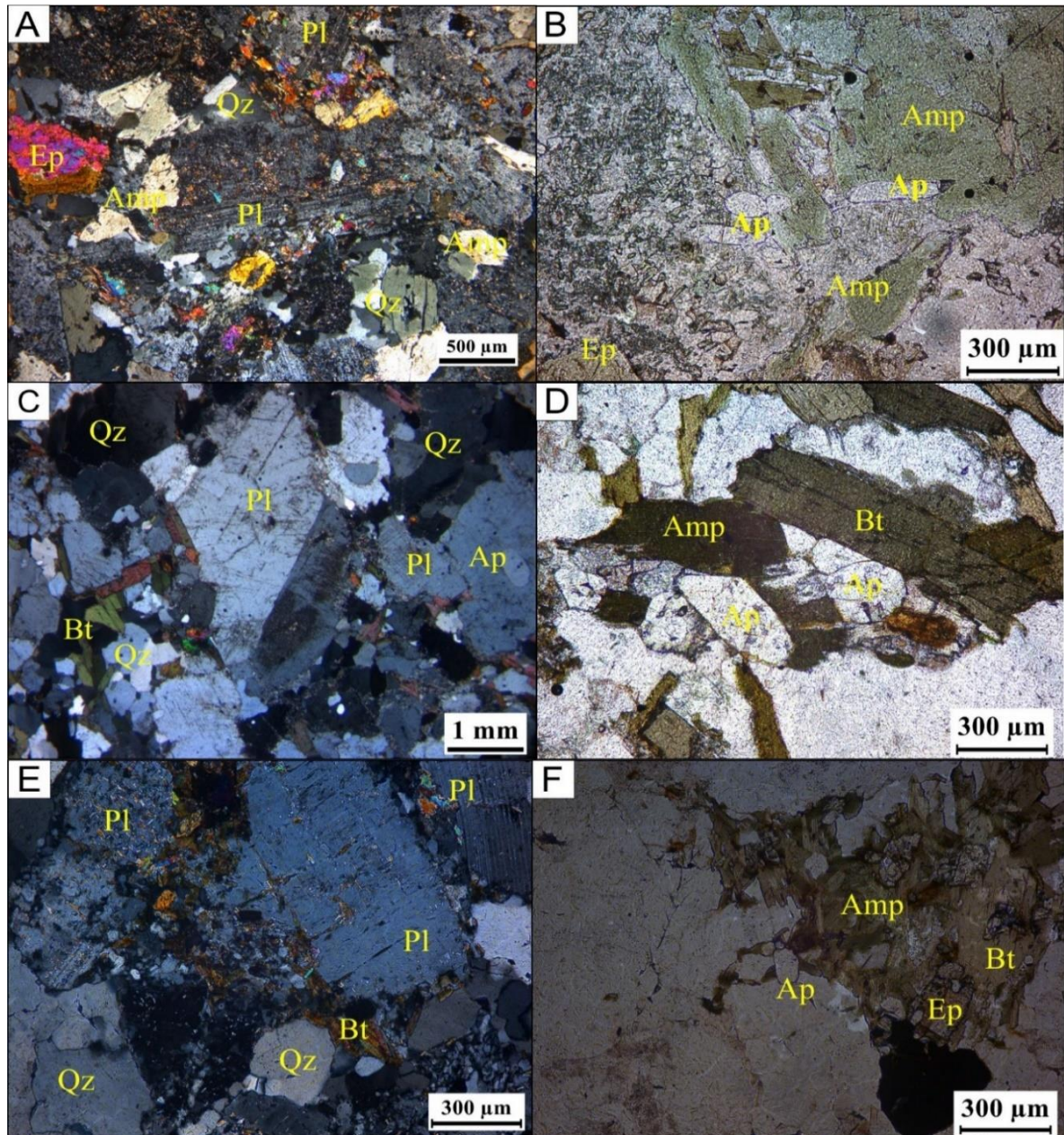


Figura 4 - Fotomicrografia de rochas sanukitoides. Rio Maria. (A) Cristal de plagioclásio (Pl) saussuritizado; quartzo (Qz) recristalizado aparece em contatos irregulares. (B) Cristais de anfibólio (Amp), com inclusão de apatita; epidoto (Ep) como alteração do plagioclásio. Bannach. (C) Plagioclásio (Pl) com alteração para argilo mineral; contém ainda inclusões de apatita. (D) Anfibólio alterando para biotita (Bt); cristais bem desenvolvidos e euédricos de apatita (Ap) aparecem associados. Ourilândia do Norte. (E) Cristal de plagioclásio com alteração para sericita ao longo do plano de clivagem. (F) Cristal de anfibólio alterando para biotita. Apatita aparece como inclusões em cristais de anfibólio com epidoto associado. Abreviatura segundo Whitney e Evans (2010).

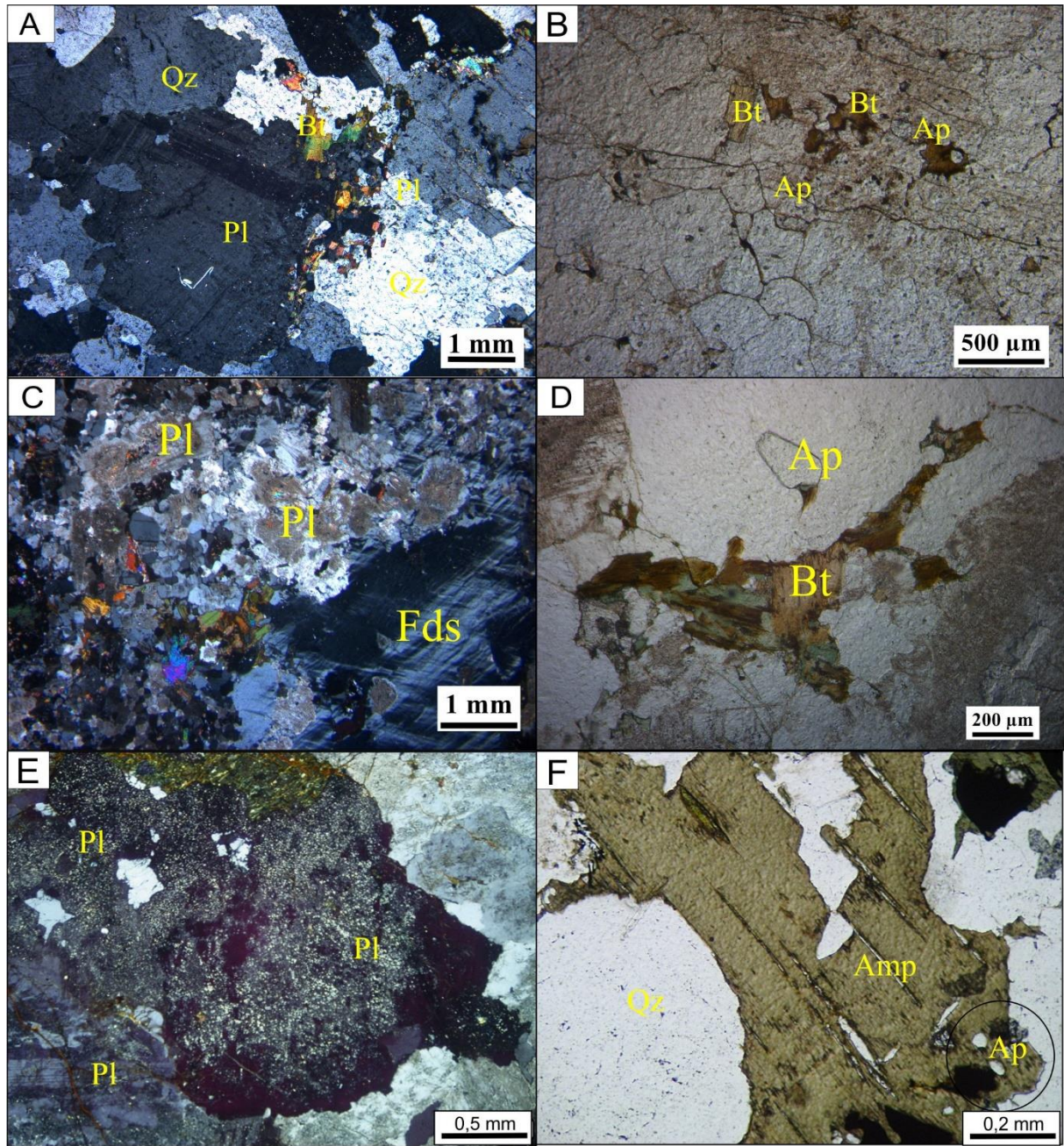


Figura 5 - Trondhjemito Mogno. (A) Cristal de plagioclásio (Pl) alterando para argilo minerais; quartzo anédrico em contato irregular com o plagioclásio. (B) Baixo conteúdo de minerais máficos na rocha, representado pela biotita (Bt) limitada ao contato dos grãos; apatita (Ap) como inclusão no plagioclásio. Do Leucogranodiorito Ba-Sr. (C) Plagioclásio saussuritizado e feldspato potássico (Fds) com crescimento de pertita; quartzo e biotita compõem a matriz. (D) Biotita alterando para clorita e com inclusão de apatita. Do Granito Seringa. (E) Plagioclásio intensamente saussuritizado. (F) Cristais de anfibólio com finas inclusões de apatita. Abreviatura segundo Whitney e Evans (2010)

A Tabela 2 apresenta as idades geocronológicas dos sanukitoides do Domínio Rio Maria e das outras rochas utilizadas neste estudo. A Tabela 3 resume a localização e as principais características petrográficas das amostras estudadas.

Tabela 2 - Localização e idade de rochas sanukitoides e outras rochas do Domínio Rio Maria (este estudo).

Tipo	Rocha	Localização	Método/Material analisado	Idade/Referência
Sanukitoides Rio Maria	Granodiorito	Rio Maria	U-Pb zircão	2874 ± 9 Ma (1)
	Granodiorito	Rio Maria	U-Pb zircão, titanita	2872 ± 5 Ma (2)
	Quartzo-diorito	Xinguara	Pb-Pb zircão	2878 ± 4 Ma (3)
	Granodiorito	Serra do Inajá	Pb-Pb zircão	2879 ± 5 Ma (4)
	Granodiorito	Serra do Inajá	Pb-Pb zircão	2877 ± 7 Ma (4)
	Granodiorito	Serra do Inajá	Pb-Pb zircão	2888 ± 5 Ma (5)
	Granodiorito	Serra do Inajá	Pb-Pb zircão	2880 ± 4 Ma (5)
	Granodiorito	Serra do Inajá	Pb-Pb zircão	2875 ± 7 Ma (5)
Trondhjemitó Mogno	Trondhjemitó	Bannach	U-Pb zircão	2967 ± 2 Ma (7)
	Trondhjemitó	Rio Maria	U-Pb zircão	2959 ± 5 Ma (7)
Leucogranodiorito Nova Canadá	Leucogranodiorito (alto Ba-Sr)	Água Azul do Norte	U-Pb zircão	2871 ± 4 Ma (8)
Granito Seringa	Monzogranito	Ourilândia do Norte	Pb-Pb zircão	1895 ± 1 Ma (9)
Granito Antônio Vicente	Sienogranito	Região do Xingu	Pb-Pb zircão	1867 ± 4 Ma (10)

(1) Macambira (1992), (2) Pimentel & Machado (1994), (3) Dall'Agnol *et al.* (1999), (4) Rolando & Macambira (2002), (5) Rolando & Macambira (2003), (6) Santos *et al.* (2013), (7) Almeida *et al.* (2011), (8) Leite-Santos 2014, (9) Paiva Jr. (2009), (10) Teixeira *et al.* (2002).

Tabela 3 - Localização das apatitas analisadas e características petrográficas de suas rochas hospedeiras.

Localização	Amostra	Rocha	Fácies	Cristaisutilizados	Análises em Ap	Essenciais (% modal)	Acessórios primários	Minerais característicos
Ourilândia do Norte	MC-49	Sanukitoide	EABGrd (3)	26	115	Pl (37,6), Qz (24,0), Afs (16,0)	Zrn, Aln, Ap, Ep, Ttn, Mag	Ep magmático, Pl saussuritizado
	AC-59	Monzogranito	BAMZG (4)	22	82	Pl (29,2), Qz (27,4), Afs (31,1)	Zrn, Ap, Aln, Mag, Ilm	Ttn magmática rara a ausente, Cpx raro
	AC-107	Monzogranito	BAMZG (4)	17	123	Pl (28,7), Qz (27,9), Afs (32,2)	Zrn, Ap, Aln, Mag, Ilm	Ttn magmática rara a ausente, Cpx raro
Rio Maria	ADR-4B	Sanukitoide	EBAQD (1)	19	131	Pl (44,4), Amp (19,5), Qz (12,1)	Ap, Zrn, Mag, Ep, Aln	Ep magmático, Pl saussuritizado
Bannach	FRM-100	Sanukitoide	EBAGrd (1)	26	105	Pl (43,3), Qz (22,3), Afs (14,2)	Ap, Ttn, Zrn, Mag, Ep, Aln	Ep magmático, Pl saussuritizado
	FRM-27	Sanukitoide	EBAGrd (1)	30	100	Pl (44,6), Qz (24,0), Afs (8,3)	Ap, Ttn, Zrn, Mag, Ep, Aln	Ep magmático, Pl saussuritizado
	MASF-28	Trondhjemitó	EBTrd (2)	27	93	Pl (56,4), Qz (31,9), Afs (1,5)	Ap, Zrn, Mag, Aln, Ttn	Ep magmático, Bt, ausência de Amp
Água Azul do Norte	PDE-106	Leucogranodiorito (alto Ba-Sr)	LGrd (5)	16	57	Pl (56,5), Qz (25,5), Afs (14,5)	Zrn, Ap, Ttn, Aln, Ep, Opq	Ep magmático, Pl An (25-30)
Granito Antônio Vicente	SLA-06-DT	Sienogranito (Sn)	BSG (6)	10	27	Pl (17,0), Qz (37,0), Afs (37,0)	Ilm, Zrn, Ap, Ccp	Ab, Tpz, Fl, Cst

E=epidoto, B=biotita, A=anfíbólio, Q=quartzo, D=diorito, Grd=granodiorito, Trd=trondhjemitó, L=Leuco, MZG=monzogranito, SG=sienogranito. (1) Oliveira *et al.* (2009), (2) Guimarães *et al.* (2010), (3) Santos *et al.* (2013), (4) Paiva Jr. *et al.* (2011), (5) Leite-Santos (2014), (6) Teixeira (1999). Pl=plagioclásio, Qz=quartzo, Afs=álcali feldspato, Ep=epidoto, Bt=biotita, Amp=anfíbólio, Ttn=titanita, Cpx=clinopiroxênio, Ab=albita, Tpz=topázio, Fl=fluorita, Zrn=zircão, Aln=allanita, Opq=opaco, Mag=magnetita, Ilm=ilmenita, Ccp=calcopirita, Cst=cassiterita.

CAPÍTULO 3

3 RESULTADOS

3.1 ASPECTOS MORFOLÓGICOS

As apatitas das rochas sanukitoides são subédricas e anédricas, bem desenvolvidas (comumente $>100\mu\text{m}$) e com finas bordas anédricas claras. Entretanto, as apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte possuem zoneamentos composicionais concêntricos a oscilatórios mais evidentes e complexos, com zonas claro-escuras bem definidas (Figuras 6A-C). Em algumas dessas apatitas as zonas claras parecem reabsorver o núcleo magmático primário mais escuro (Figuras 6B-C), por vezes subarredondado (Figura 6C). As apatitas dos sanukitoides de Rio Maria (Figura 6D-F) e Bannach (Figuras 6G-L) formam cristais mais homogêneos, com zoneamento oscilatório pouco evidente a inexistente.

As apatitas do Leucogranodiorito Nova Canadá rico em Ba-Sr (Figura 7A-C) e do Trondhjemito Mogno (Figura 7D-F) são igualmente bem desenvolvidas ($>150\ \mu\text{m}$), porém com zoneamentos pouco evidentes e restritos às bordas de alguns cristais (Figura 7A-F). Inclusões de zircão são raras a ausentes nas apatitas estudadas, porém comuns nas apatitas do Trondhjemito Mogno (Figura 7D-E).

No Granito Seringa, as apatitas são de granulação mais fina ($<100\ \mu\text{m}$), subédricas a euédricas e mostram zoneamentos bem definidos (Figuras 7G-L), enquanto as do granito estanífero Antônio Vicente (SLA-06-DT) são menores ($<30\ \mu\text{m}$), subarredondadas e isentas de zoneamentos composicional (Figuras 7M-O).

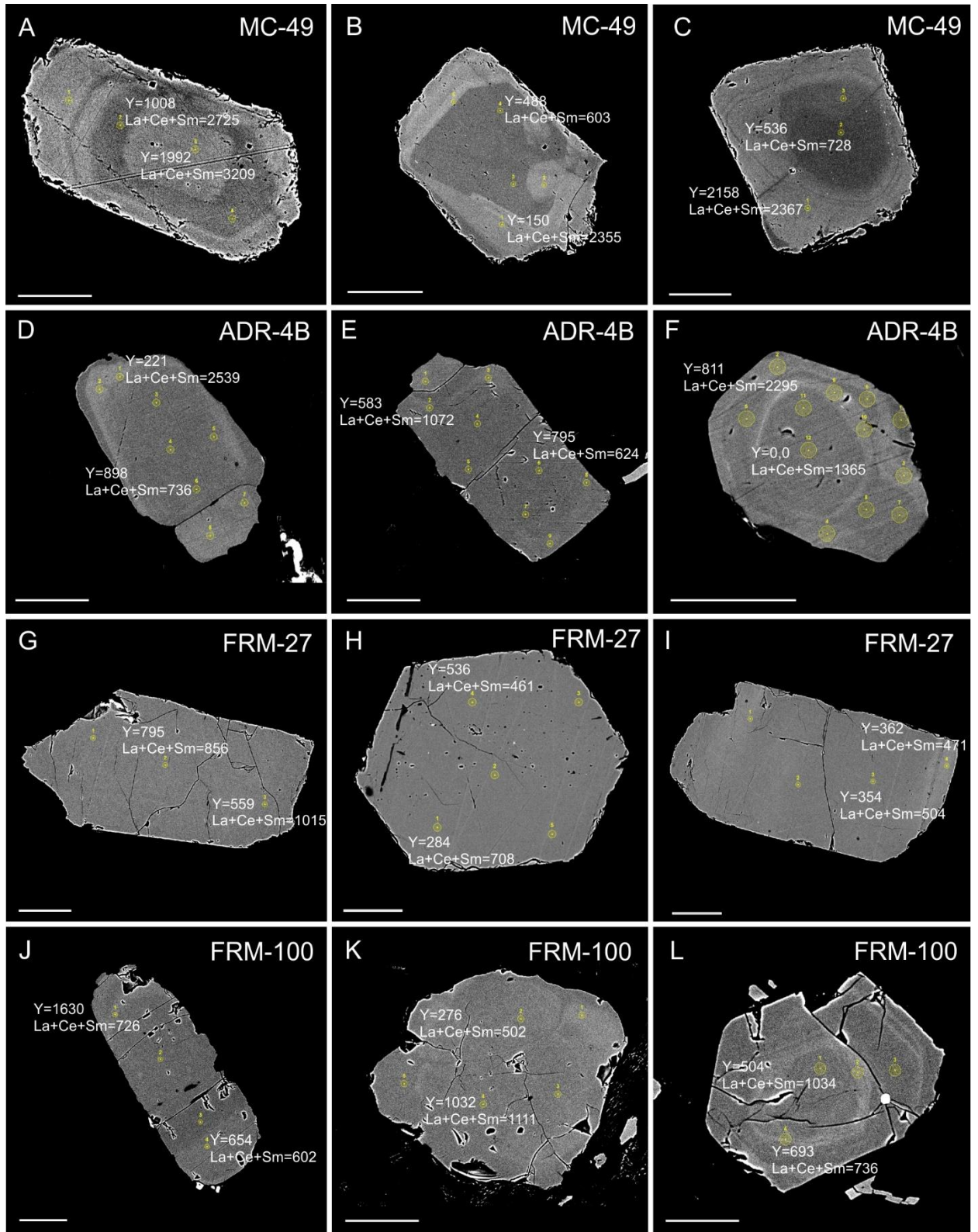


Figura 6 - Imagens de elétrons retroespalhados das apatitas estudadas mostrando conteúdos de Y e ETRL (ppm) nos pontos analisados. A-C=Sanukitoides de Ourilândia do Norte; D-F=Sanukitoides de Rio Maria; G-L=Sanukitoides de Bannach. Barra horizontal=50 μm .

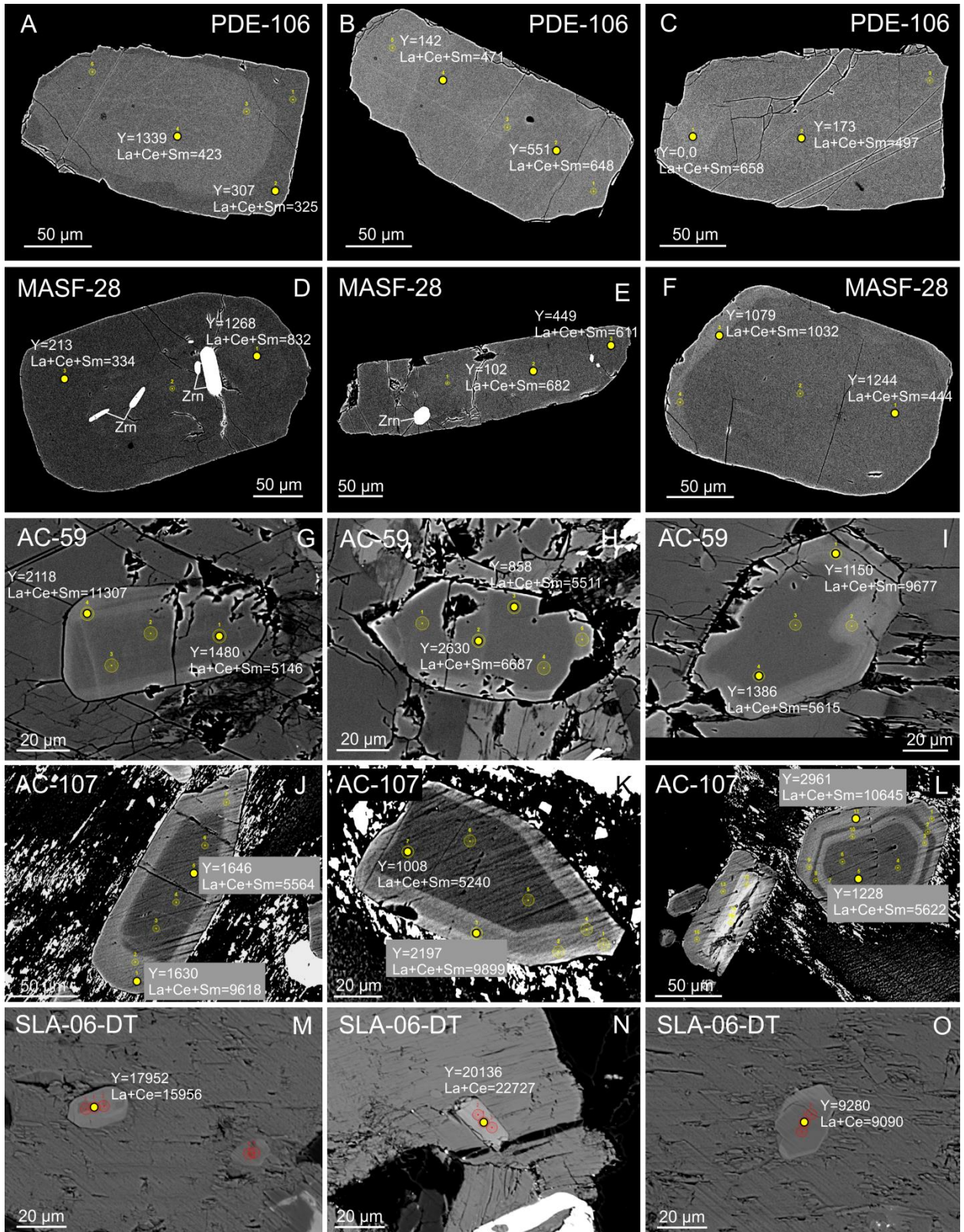


Figura 7 - Imagens de elétrons retroespalhados das apatitas estudadas mostrando conteúdos de Y e ETRL (ppm) nos pontos analisados. A-C=Leucogranodiorito Nova Canadá; D-F=Trondhjemito Mogno; G-L=Granito Seringa; M-O=Granito estanífero Antônio Vicente. Zrn=zircão.

3.2 GEOQUÍMICA

Foram realizadas 792 análises em 193 cristais de apatita. Análises médias representativas constam na Tabela 4. Todas as apatitas são enriquecidas em F (1,8 a 6,0 wt%) e empobrecidas em Cl ($\leq 0,10$ wt%), o que é característico de apatitas magmáticas (Piccoli & Candela 2002; Chu *et al.* 2009), sendo classificadas como F-apatitas. A Tabela 5 apresenta os valores mínimo, máximo e médio das apatitas analisadas.

3.2.1 Elementos maiores e menores

3.2.1.1 Rochas Sanukitoides

Nas apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte (MC-49) CaO e P₂O₅ variaram de 54,87 a 55,55 wt% (média de 55,25 wt%) e 41,36 a 41,92 wt% (média de 41,60 wt%), respectivamente. SiO₂ apresentou valores entre 0,18 e 0,28 wt% e Al₂O₃ não foi detectado. FeO e MnO apresentaram valores máximos de 0,60 e 0,09 wt%, respectivamente. MgO e SrO são predominantemente $\leq 0,01$ e Na₂O e K₂O $\leq 0,01$ wt%. BaO e Nb₂O₃ não ultrapassam 0,03 wt%. F entre 2,28 e 2,64 wt% (média de 2,37 wt%) e Cl entre 0,08 e 0,12 wt% (média de 0,10 wt%) geraram razões F/Cl entre 19 e 31 (média de 23).

As apatitas das rochas sanukitoides de Rio Maria (ADR-4B) possuem CaO variando entre 54,55 e 55,31 wt% (média de 55,04 wt%), P₂O₅ entre 41,69 a 42,39 wt% (média de 41,90 wt%) e SiO₂ $< 0,50$ wt%. FeO apresentou valor máximo de 0,30 wt% e o MnO de 0,08 wt%. MgO e SrO ficaram abaixo de 0,07 wt%. Na₂O apresentou valores $\leq 0,14$ wt% e K₂O $\leq 0,01$ wt%. O F variou entre 1,77 e 2,44 wt% (média de 2,16 wt%) e o Cl entre 0,06 e 0,11 wt% (média de 0,07 wt%) gerando razões F/Cl entre 16 e 35 (média de 28).

As apatitas dos sanukitoides de Bannach (FRM-27 e FRM-100) apresentaram conteúdos de CaO e P₂O₅ entre 55,02 e 56,93 wt% (média de 55,86 wt%) e entre 40,42 e 42,68 wt% (média de 41,84 wt%), respectivamente. SiO₂ variou de 0,05 a 0,16 wt%, enquanto FeO e MnO apresentaram valores máximos de 0,49 wt% e 0,17 wt%, respectivamente (FRM-27). MgO e SrO são $\leq 0,06$ wt%. Na₂O atinge 0,15 wt% e o K₂O $\leq 0,02$ wt%. Essas apatitas são mais enriquecidas em F (2,28 a 3,98 wt%) e Cl (0,01 a 0,05 wt%) e apresentam razões F/Cl mais elevadas (46 a 278) do que as apatitas de Ourilândia do Norte e Rio Maria (Tabela 4).

3.2.1.2 Leucogranodiorito Nova Canadá (PDE-106)

O Leucogranodiorito Nova Canadá (PDE-106) possui apatita com conteúdo médio de CaO = 55,49 wt%, P₂O₅ = 41,63 wt%, SiO₂ = 0,11 wt%, FeO = 0,18 wt% e MnO = 0,09 wt%.

O SrO varia de 0,05 a 0,10 wt%, enquanto Na₂O e K₂O são $\leq 0,02$ wt% e o BaO $\leq 0,01$ wt%. São apatitas enriquecidas em F (3,27 a 3,52 wt%) e pobres em Cl (0,01 – 0,04 wt%), apresentando razões F/Cl entre 81 e 350 (média de 212).

3.2.1.3 *Trondhjemito Mogno (MASF-28)*

CaO e P₂O₅ nas apatitas do Trondhjemito Mogno (MASF-28) variam de 54,34 a 55,13 wt% (média de 54,82 wt%) e de 40,82 a 41,54 wt% (média de 41,26 wt%), respectivamente, enquanto SiO₂ $\leq 0,20$ wt%. O FeO máximo encontrado nessas apatitas foi de 0,31 wt% e o MnO de 0,16 wt%. MgO, SrO, Na₂O e K₂O são $\leq 0,10$ wt%. O F é elevado e variou entre 2,89 e 3,72 wt% (média de 3,45 wt%) e o Cl não ultrapassou 0,02 wt%, gerando razões F/Cl entre 328 e 389 (média de 350).

3.2.1.4 *Granito Seringa (AC-59, 107)*

Nas apatitas do Granito Seringa, CaO e P₂O₅ variaram respectivamente, de 54,17 a 54,76 wt% e de 40,67 a 41,52 wt%. SiO₂, entre 0,37 e 0,74 wt%, é mais elevado que nas apatitas anteriores. FeO e MnO atingiram valores máximos de 0,67 e 0,24 wt%, respectivamente. SrO e Na₂O não ultrapassaram 0,05 wt% e K₂O $\leq 0,27$ wt%. O F variou entre 3,12 e 4,68 wt% e o Cl $\leq 0,22$ wt%, o que gerou razões F/Cl entre 18 e 138 (média de 55).

3.2.1.5 *Granito estanífero Antônio Vicente (SLA-06-DT)*

Apatitas do granito estanífero Antônio Vicente possuem os mais baixos e variáveis conteúdos de CaO (49,44 a 54,65 wt%) e P₂O₅ (35,16 a 41,05 wt%), indicando maiores substituições por outros elementos. Os demais óxidos apresentaram valores sempre superiores aos encontrados nas outras apatitas estudadas. SiO₂ variou de 0,45 a 3,31 wt%, Al₂O₃ apresentou valor máximo de 0,62 wt%, FeO variou de 0,35 a 1,54 wt%, MnO de 0,21 a 0,33 wt%, Na₂O de 0,30 a 0,46 wt% e K₂O $\leq 0,02$. O F é também mais elevado, com valores entre 2,58 a 6,28 wt% (média de 3,99 wt%) e o Cl $\leq 0,02$ %, proporcionando razões F/Cl entre 181 e 628. O SrO não foi analisado nessas apatitas (Tabela 4).

3.2.2 Elementos-traço

3.2.2.1 Rochas Sanukitoides

O V é baixo e variável, atingindo valor máximo de 40 ppm nas apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte (MC-49), 38 ppm nas de Rio Maria (ADR-4B) e 56 ppm nas de Bannach (FRM-27). O Y é mais elevado nas apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte, variando de 586 a 1.247 ppm (média de 916 ppm); nas apatitas de Rio Maria atingiu conteúdos de até 532 ppm (média de 326 ppm) e nas de Bannach de 820 ppm (média de 362 ppm).

La, Ce, Pr e Sm são também mais elevados nas apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte, com conteúdo máximos de 685, 2.324, 444 e 442 ppm, respectivamente, contra 608, 1.813, 1.192 e 220 ppm das apatitas de Rio Maria, e 192, 526, 279 e 379 ppm das apatitas dos sanukitoides de Bannach. Somente as apatitas de Rio Maria apresentaram concentrações mais elevadas de Pr (1.192ppm) que as demais (Tabela 4).

Gd e Yb apresentaram conteúdos muito próximos. Nas apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte variaram de 5,21 a 364 ppm (média de 211 ppm) e de <0,01 a 213 ppm (média de 69 ppm), respectivamente. Nas apatitas de Rio Maria esses elementos variaram de 58 a 352 ppm (média de 173 ppm) e de 2,93 a 255 ppm (média de 96 ppm), e nas de Bannach de 0,00 a 538 ppm (média de 182 ppm) e de 0,00 a 219 ppm (média de 76 ppm).

O valor médio da somatória (La+Ce+Pr+Sm) e (Gd+Yb) foi de 2.463 e 280 ppm nas apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte, 2.056 e 270 ppm nas de Rio Maria e de 778 e 259 ppm nas apatitas dos sanukitoides de Bannach.

3.2.2.2 Leucogranodiorito Nova Canadá (PDE-106)

O valor máximo de V nas apatitas do leucogranodiorito Nova Canadá foi de 54 ppm (média de 18 ppm), se aproximando dos valores encontrados nas apatitas dos sanukitoides de Bannach e Tromdhjemito Mogno. O valor máximo de Y foi de 528 ppm (média de 216 ppm), bem abaixo do encontrado nas apatitas dos sanukitoides. La, Ce, Pr e Sm apresentam conteúdos que se aproximam dos valores encontrados nas apatitas dos sanukitoides de Bannach, porém são comparativamente inferiores aos das apatitas dos sanukitoides de Rio Maria e Ourilândia do Norte (Tabela 5). O Gd variou de 31 a 497 ppm e o Yb de 23,42 a 131 ppm. O valor médio da somatória (La+Ce+Pr+Sm) foi de 644 ppm, se aproximando dos valores encontrados nas apatitas dos sanukitoides de Bannach e bem abaixo dos encontrados

nas apatitas de Ourilândia do Norte (2.463) e Rio Maria (2.056). O valor médio de (Gd+Yb) dessas apatitas (254 ppm) não difere muito dos encontrados nas apatitas das rochas sanukitoides (Tabela 5).

3.2.2.3 *Trondhjemitó Mogno (MASF-28)*

Apatitas do Trondhjemitó Mogno apresentam conteúdo máximo de V igual a 27 ppm. O Y variou de 183 a 1.071 ppm (média de 611 ppm), similar ao encontrado nos sanukitoides de Ourilândia do Norte, porém mais elevado que nas apatitas dos demais sanukitoides e do Leucogranodiorito Nova Canadá. La, Ce, Pr e Sm apresentaram médias de 97, 455, 56 e 120 ppm, muito próximas as encontradas nas apatitas de Bannach e do Leucogranodiorito Nova Canadá, porém inferiores as das apatitas de Ourilândia do Norte e Rio Maria. A média da somatória (La+Ce+Pr+Sm) foi de 730 ppm, comparativamente inferior à das apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte (2.463 ppm) e Rio Maria (2.056 ppm) e similar as dos sanukitoides de Bannach e do leucogranodiorito Nova Canadá (Tabela 5).

3.2.2.4 *Granito Seringa (AC-59, 107)*

V nas apatitas do Granito Seringa apresentou valor máximo de 34 ppm. O Y é mais elevado que nas apatitas anteriores, variando de 1.454 a 2.364 ppm (média de 1.875 ppm). La, Ce, Pr e Sm são também mais elevados em comparação às demais apatitas, com conteúdo variando de 1.869 a 3.098, 4.542 a 7.193, 420 a 741 e 131 a 590 ppm, respectivamente. A somatória média de (La+Ce+Pr+Sm) foi de 8.444 ppm e a de (Gd+Yb) de 470 ppm (Tabela 5).

3.2.2.5 *Granito estanífero Antônio Vicente (SLA-06-DT)*

V, Pr, Sm, Eu, Gd e Yb não foram analisados nas apatitas do Granito Antônio Vicente. Entretanto, Y (8.205 a 18.931 ppm), La (912 a 5.849 ppm) e Ce (4.055 a 16.316 ppm) são mais elevados dentre todas as apatitas analisadas (Tabela 5).

Tabela 4 - Composições médias representativas das apatitas deste estudo.

Cristal Análises	Sanukitoide de Ourilândia do Norte (MC-49)										Sanukitoide de Rio Maria (ADR-4B)										
	1E 4	3C 4	2F 4	3A 5	3D 5	4C 4	5F 4	7A 5	7G 5	8C 4	1 3	2 6	3 8	6 8	8 12	9 12	10 9	12 13	13 3	15 4	
% peso																					
CaO	54.87	55.07	55.27	55.43	55.55	55.31	55.17	54.95	55.37	55.49	54.55	54.75	55.19	55.08	54.75	55.18	55.31	55.11	55.29	55.26	
P ₂ O ₅	41.55	41.65	41.38	41.59	41.81	41.60	41.50	41.36	41.66	41.92	41.71	41.70	41.69	41.74	42.39	42.12	41.70	41.97	41.95	42.07	
SiO ₂	0.26	0.26	0.22	0.18	0.18	0.28	0.26	0.28	0.26	0.21	0.31	0.31	0.21	0.21	0.20	0.20	0.17	0.17	0.42	0.19	
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
FeO	0.07	0.12	0.04	0.03	0.26	0.31	0.04	0.56	0.04	0.14	0.13	0.05	0.21	0.06	0.15	0.30	0.14	0.25	0.00	0.09	
MnO	0.04	0.00	0.00	0.05	0.05	0.09	0.04	0.03	0.01	0.00	0.00	0.05	0.07	0.06	0.00	0.04	0.03	0.08	0.01	0.00	
MgO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.07	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	
SrO	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.07	0.06	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	
Na ₂ O	0.10	0.04	0.00	0.01	0.01	0.04	0.06	0.08	0.02	0.03	0.13	0.09	0.04	0.10	0.03	0.05	0.02	0.03	0.06	0.14	
K ₂ O	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	
BaO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.12	0.00	0.01	0.01	0.01	0.10	
Nb ₂ O ₅	0.01	0.02	0.00	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.02	0.01	0.06	0.02	0.02	0.01	0.20	0.24	0.01	0.02	0.01	0.23	
SO ₃	0.17	0.12	0.09	0.08	0.08	0.18	0.22	0.25	0.15	0.15	0.42	0.37	0.28	0.36	0.13	0.24	0.17	0.12	0.32	0.43	
F	2.64	2.37	2.35	2.34	2.35	2.32	2.45	2.38	2.32	2.28	1.77	2.24	2.17	2.20	2.11	2.06	2.24	2.20	2.24	2.44	
Cl	0.12	0.08	0.09	0.12	0.12	0.11	0.10	0.08	0.11	0.10	0.11	0.07	0.07	0.08	0.06	0.07	0.07	0.11	0.08	0.07	
Total	99.88	99.80	99.50	99.93	100.50	100.30	99.91	100.06	100.01	100.44	99.30	99.72	100.03	99.97	100.21	100.58	99.93	100.14	100.46	101.08	
ppm																					
V	32.29	8.50	15.30	0.00	4.08	17.00	27.19	19.03	32.63	40.79	6.80	3.40	26.34	33.14	22.09	14.73	16.62	8.89	38.52	35.69	
Y	1080.84	586.69	937.13	595.35	960.75	683.16	968.63	1247.40	1121.40	986.34	532.88	212.63	394.73	213.61	248.06	377.34	418.25	402.23	286.13	177.19	
La	357.12	416.98	251.84	241.10	338.54	328.22	598.63	685.33	394.68	225.00	498.17	608.27	308.61	486.13	287.62	280.05	215.60	515.11	187.16	462.39	
Ce	1690.52	2119.56	1357.54	1273.87	1280.70	1620.09	2162.25	2324.04	1729.80	1056.58	1568.15	1812.90	860.20	1424.78	1390.27	976.69	789.29	1523.05	1127.02	1225.20	
Pr	198.67	444.34	256.35	198.24	140.14	158.08	260.62	133.30	126.47	119.63	193.69	220.75	61.95	143.13	1192.03	83.31	105.39	120.94	236.41	0.00	
Sm	269.50	304.00	441.98	43.12	303.56	122.89	222.07	67.27	291.49	81.93	218.47	194.04	147.69	181.10	95.58	144.45	220.39	77.62	204.10	174.64	
Eu	12.95	0.00	17.27	38.00	0.00	66.93	136.02	20.73	153.72	0.00	0.00	0.00	11.87	0.00	0.72	0.00	14.39	19.26	0.00	0.00	
Gd	310.17	195.21	364.39	112.79	5.21	143.15	262.45	353.98	255.07	114.96	185.09	261.73	176.77	250.52	107.00	138.82	75.19	125.47	352.82	58.56	
Yb	114.17	0.00	212.96	61.47	80.79	13.17	70.26	68.50	7.03	63.67	166.86	99.53	132.83	91.11	85.62	40.98	33.18	60.80	2.93	254.68	
F/Cl	22.72	29.18	25.56	19.08	20.08	20.82	24.63	29.31	20.58	22.53	16.04	31.45	30.71	27.38	35.16	28.33	31.72	19.75	27.94	34.85	
Eu/Eu*	0.02	0.00	0.02	0.00	0.00	0.18	0.30	0.06	0.16	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.08	0.09	0.00	0.00	0.00	
Ce/Ce*	0.42	0.28	0.25	0.29	0.42	0.54	0.42	0.47	0.45	0.50	0.34	0.41	0.33	0.32	0.61	0.56	0.67	1.57	0.44	0.54	
(La/Sm)N	0.83	0.86	0.36	3.52	0.70	1.68	1.70	6.41	0.85	1.73	0.74	1.05	1.65	0.90	0.26	0.91	0.75	1.10	0.17	1.45	
(La/Ce)N	0.55	0.51	0.48	0.49	0.69	0.53	0.72	0.77	0.60	0.56	0.88	0.87	0.86	0.85	0.50	0.81	0.59	0.79	0.41	0.99	
(La/Yb)N	2.11	0.00	0.80	2.65	2.83	16.82	5.75	6.75	37.92	2.39	2.35	10.93	1.09	1.64	0.65	1.07	0.24	1.91	0.21	2.69	
Ce/La	4.73	5.08	5.39	5.28	3.78	4.94	3.61	3.39	4.38	4.70	3.15	2.98	2.79	2.93	4.83	3.49	3.66	2.95	6.02	2.65	
La/Sm	1.33	1.37	0.57	5.59	1.12	2.67	2.70	10.19	1.35	2.75	2.28	3.13	2.09	2.68	3.01	1.94	0.98	6.63	0.92	2.65	
La/Yb	3.13	0.00	1.18	3.92	4.19	24.92	8.52	10.00	56.14	3.53	2.98	6.11	2.32	5.33	3.36	6.83	6.50	8.47	63.93	1.81	

Sanukitoides de Bannach																				
Cristal Análises	MFR-27										MFR-100									
	1D 3	1F 4	3F 3	5F 3	6B 3	7B 3	7F 3	8E 3	9D 4	10B 3	1 4	2 4	4 4	8 4	9 4	10 5	11 4	16 5	18 3	20 4
% peso																				
CaO	55.02	55.24	55.53	55.30	55.38	55.24	55.39	55.37	55.44	55.50	55.20	56.63	56.93	56.39	55.94	56.84	56.57	56.65	55.86	56.89
P ₂ O ₅	42.15	42.22	41.98	42.02	42.16	42.19	41.99	42.24	41.15	41.77	42.05	42.33	42.56	40.92	40.77	42.68	40.42	41.51	41.56	41.95
SiO ₂	0.09	0.08	0.09	0.10	0.08	0.06	0.08	0.08	0.08	0.10	0.13	0.14	0.11	0.05	0.16	0.13	0.10	0.12	0.09	0.15
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.08	0.36	0.12	0.44	0.13	0.00	0.30	0.00	0.27	0.49	0.20	0.13	0.11	0.04	0.15	0.00	0.08	0.38	0.05	0.11
MnO	0.00	0.05	0.09	0.08	0.05	0.01	0.00	0.09	0.07	0.05	0.02	0.07	0.00	0.00	0.17	0.14	0.12	0.08	0.05	0.07
MgO	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
SrO	0.05	0.05	0.05	0.03	0.03	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.04	0.06	0.03	0.03	0.03	0.05	0.04
Na ₂ O	0.02	0.01	0.01	0.00	0.02	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01	0.15	0.01	0.00	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.08	0.01
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00
BaO	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00
Nb ₂ O ₅	0.03	0.02	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.03
SO ₃	0.12	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.10	0.12	0.12	0.12	0.07	0.05	0.04	0.04	0.06	0.07	0.06	0.03	0.13	0.05
F	3.18	3.12	3.27	3.09	3.21	2.97	3.01	3.06	3.19	3.12	3.49	2.33	2.48	2.28	3.82	2.59	3.44	2.85	3.90	2.40
Cl	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.04	0.03	0.03	0.05	0.03	0.05	0.03	0.05
Total	100.75	101.30	101.31	101.21	101.23	100.70	101.96	101.07	100.43	101.25	101.53	101.83	102.36	99.86	101.22	102.56	100.89	101.76	101.84	101.76
ppm																				
V	38.52	30.59	24.93	0.00	20.39	9.06	11.33	56.65	25.49	22.66	15.30	5.10	13.60	0.00	8.50	10.88	23.79	32.63	22.66	1.70
Y	259.88	246.09	259.88	162.75	233.63	364.88	354.38	745.50	133.88	451.50	820.97	468.56	167.34	149.63	565.03	422.10	525.66	433.13	102.38	374.06
La	134.86	86.70	118.35	79.82	129.36	30.28	192.66	49.54	70.18	162.39	39.22	125.92	28.90	123.86	191.98	71.01	119.73	82.57	156.88	130.05
Ce	392.75	354.33	424.05	526.51	463.90	469.59	480.97	452.51	386.34	483.82	290.29	520.82	339.39	236.93	488.80	252.72	362.87	450.81	315.91	439.71
Pr	102.54	21.36	99.69	139.57	207.93	122.48	45.57	51.27	81.18	5.70	279.85	34.18	0.00	89.72	217.90	87.16	21.36	82.03	99.69	207.22
Sm	169.61	109.96	321.96	379.46	71.87	120.74	255.85	160.98	64.68	152.36	228.54	237.16	21.56	36.65	163.86	191.45	90.55	79.34	114.99	168.17
Eu	164.08	120.90	0.00	0.00	20.15	25.91	43.18	97.87	92.84	71.97	2.16	0.00	0.00	194.31	0.00	0.00	0.00	77.72	0.00	0.00
Gd	118.57	186.53	156.17	216.90	537.91	156.17	0.00	135.92	188.70	34.70	208.22	435.97	114.96	127.97	288.48	123.20	47.72	105.85	190.87	253.77
Yb	105.38	151.49	140.51	23.42	0.00	0.00	20.49	169.79	118.56	67.33	219.55	175.64	0.00	26.35	76.84	63.23	54.89	56.20	43.91	52.69
F/Cl	221.74	186.52	257.82	174.66	219.09	159.13	150.50	278.42	187.84	167.34	86.73	46.22	61.29	75.86	126.75	51.12	113.72	56.69	129.14	47.60
Eu/Eu*	2.73	0.79	0.00	0.00	0.08	0.11	0.14	0.41	0.28	0.00	0.04	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00
Ce/Ce*	0.25	0.40	0.19	0.15	0.63	0.30	0.31	0.34	0.37	0.56	0.09	0.13	0.09	0.23	0.12	0.49	0.14	0.61	0.16	0.15
(La/Sm)N	0.50	0.50	0.23	0.13	0.29	0.12	0.47	0.09	0.68	0.00	0.11	0.33	0.00	0.84	0.74	0.03	0.16	0.66	0.86	3.68
(La/Ce)N	0.90	0.64	0.73	0.40	0.76	0.14	1.04	0.23	0.47	1.08	0.35	0.63	0.34	1.34	1.02	0.68	0.67	0.48	1.30	1.07
(La/Yb)N	0.86	0.39	0.57	2.30	0.00	0.00	6.35	0.95	0.40	0.00	0.12	0.48	0.00	1.50	1.69	0.53	0.36	0.99	2.41	1.21
Ce/La	2.91	4.09	3.58	6.60	3.58	15.51	2.50	9.13	5.50	2.98	7.40	4.14	11.74	1.93	2.55	3.56	3.03	5.46	2.01	3.38
La/Sm	0.80	0.79	0.37	0.21	1.80	0.25	0.75	0.31	1.09	1.06	0.17	0.53	1.34	3.37	1.17	0.37	1.32	1.04	1.36	0.77
La/Yb	1.28	0.57	0.84	3.41	0.00	0.00	9.40	0.29	0.59	2.41	0.18	0.72	0.00	4.70	2.50	1.12	2.18	1.47	3.57	2.47

Cristal Análises	Leucogranodiorito Nova Canadá (PDE-106)										Trondhjemito Mogno (MASF-28)									
	1D 3	2A 5	3A 3	3B 5	3C 3	4D 4	5C 2	6B 3	7A 3	8D 3	1B 3	1C 3	2A 4	2C 4	4A 3	4C 3	5C 3	6A 4	7D 4	8D 4
% peso																				
CaO	55.35	55.18	55.50	55.51	55.63	55.62	55.60	55.51	55.53	55.54	54.97	54.71	54.66	54.93	54.82	55.02	54.88	55.13	54.81	54.34
P ₂ O ₅	41.62	41.77	41.63	41.63	41.66	41.63	41.34	41.74	41.67	41.64	40.82	41.54	41.21	41.42	41.20	41.20	41.51	41.25	41.27	41.19
SiO ₂	0.10	0.09	0.10	0.09	0.06	0.14	0.18	0.08	0.05	0.11	0.07	0.08	0.17	0.13	0.20	0.10	0.07	0.07	0.11	0.06
Al ₂ O ₃	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
FeO	0.00	0.16	0.02	0.14	0.01	0.35	0.33	0.50	0.15	0.22	0.00	0.24	0.00	0.03	0.00	0.15	0.31	0.00	0.11	0.18
MnO	0.01	0.01	0.05	0.08	0.09	0.09	0.11	0.16	0.16	0.17	0.10	0.08	0.07	0.14	0.03	0.05	0.13	0.14	0.10	0.16
MgO	0.01	0.11	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
SrO	0.10	0.05	0.08	0.10	0.08	0.09	0.09	0.10	0.08	0.09	0.03	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.05	0.04	0.04	0.04
Na ₂ O	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.04	0.04	0.03	0.09
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
BaO	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00
Nb ₂ O ₅	0.03	0.03	0.04	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03	0.01	0.01
SO ₃	0.14	0.05	0.14	0.18	0.16	0.18	0.27	0.11	0.11	0.18	0.06	0.08	0.09	0.09	0.09	0.10	0.14	0.10	0.5	0.15
F	3.50	3.40	3.38	3.32	3.45	3.32	3.52	3.48	3.31	3.27	3.55	3.48	3.28	2.89	3.31	3.70	3.48	3.38	3.48	3.46
Cl	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01
Total	100.91	100.88	100.98	101.11	101.19	101.48	101.49	101.71	101.13	101.30	99.69	100.31	99.61	99.80	99.76	100.48	100.65	100.21	100.06	99.71
ppm																				
V	0.00	2.72	9.06	24.47	13.60	20.39	54.38	4.53	13.60	40.79	9.06	18.13	27.19	6.80	27.19	13.60	9.06	6.80	6.80	10.20
Y	0.00	527.63	338.63	155.93	254.63	192.94	126.00	57.75	367.50	139.13	509.25	493.50	1071.00	610.31	929.25	430.50	183.75	781.59	811.13	297.28
La	123.86	110.64	88.07	74.31	79.82	109.41	28.90	74.31	71.56	99.08	115.60	104.59	140.37	33.03	176.15	74.31	88.07	90.83	117.66	39.22
Ce	404.13	416.65	315.91	467.88	105.30	548.57	264.68	236.22	253.29	389.90	347.21	344.37	687.31	569.91	637.50	287.45	458.21	332.98	542.16	352.19
Pr	19.94	276.86	85.45	85.45	71.21	126.04	111.09	56.97	28.48	370.28	39.88	42.73	0.00	147.40	82.60	68.36	48.42	57.68	70.50	8.55
Sm	43.12	36.22	195.48	156.96	60.37	66.84	60.37	137.98	77.62	120.74	112.11	126.49	200.51	185.42	57.49	25.87	232.85	157.39	12.94	92.71
Eu	0.00	63.91	0.00	48.36	0.00	32.39	73.41	54.69	0.00	8.64	2.88	0.00	56.13	51.82	0.00	0.00	172.72	0.00	0.00	60.45
Gd	497.42	196.08	260.28	31.23	205.33	36.87	147.49	173.52	240.04	167.74	578.40	83.87	95.44	251.60	202.44	11.57	283.42	203.89	184.37	97.61
Yb	52.69	45.67	32.20	38.64	61.47	85.62	87.82	131.73	23.42	26.35	149.29	93.67	79.04	120.75	11.71	210.77	90.75	120.75	164.66	74.65
F/Cl	350.00	170.00	169.00	332.00	345.00	166.00	176.00	174.00	165.50	81.75	355.00	348.00	328.00	389.00	331.00	370.00	348.00	338.00	348.00	346.00
Eu/Eu*	0.00	0.53	0.00	0.08	0.00	0.44	2.48	0.13	0.00	0.12	0.01	0.00	0.10	0.18	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	0.93
Ce/Ce*	0.69	0.12	0.34	0.30	0.25	0.28	0.44	0.06	0.15	0.93	0.30	0.17	0.62	0.00	0.50	0.30	0.45	0.37	0.30	0.07
(La/Sm)N	1.81	1.92	0.28	0.30	0.83	1.03	0.30	0.34	0.58	0.52	0.65	0.52	0.44	0.11	1.93	1.81	0.24	0.36	5.72	0.27
(La/Ce)N	0.80	0.69	0.73	0.41	1.98	0.52	0.28	0.82	0.74	0.66	0.87	0.79	0.53	0.15	0.72	0.67	0.50	0.71	0.57	0.29
(La/Yb)N	1.59	1.64	1.85	1.30	0.88	0.86	0.22	0.38	2.06	2.54	0.52	0.75	1.20	0.18	10.15	0.24	0.66	0.51	0.48	0.35
Ce/La	3.26	3.77	3.59	6.30	1.32	5.01	9.16	3.18	3.54	3.94	3.00	3.29	4.90	17.25	3.62	3.87	5.20	3.67	4.61	8.98
La/Sm	2.87	3.05	0.45	0.47	1.32	1.64	0.48	0.54	0.92	0.82	1.01	0.83	0.70	0.18	3.06	2.87	0.38	0.58	9.09	0.42
La/Yb	2.35	2.42	2.74	1.92	1.30	1.28	0.33	0.56	3.06	3.76	0.77	1.12	1.78	0.27	15.04	0.35	0.97	0.75	0.71	0.53

Tabela 4 - Continuação. Composições médias representativas de apatitas dos granitos paleoproterozoicos Seringa e Antônio Vicente (Sn).

Amostra	Granito Seringa								Granito Antônio Vicente (Sn)								
	AC-59				AC-107				SLA-06-DT								
Cristal	2	5	9	12	1	3	8	12	1	2	3	4	5	6	7	9	13
Análises	4	3	4	7	5	8	9	5	3	5	2	3	2	3	2	2	2
% peso																	
CaO	54.58	54.51	54.51	54.76	54.31	54.50	54.17	54.42	52.76	53.73	53.43	50.28	50.29	50.38	50.72	54.65	49.44
P ₂ O ₅	40.67	41.34	40.75	40.94	41.50	41.39	41.44	41.14	40.36	41.05	40.97	37.32	37.94	37.72	35.16	40.89	37.46
SiO ₂	0.74	0.42	0.64	0.40	0.37	0.44	0.54	0.49	0.82	0.61	0.73	2.11	2.02	1.95	3.31	0.45	2.05
Al ₂ O ₃	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.62	0.01	0.01
FeO	0.64	0.67	0.38	0.58	0.19	0.37	0.63	0.42	0.47	0.45	0.49	0.56	0.62	0.57	1.54	0.35	0.63
MnO	0.24	0.13	0.04	0.06	0.06	0.09	0.06	0.06	0.28	0.21	0.22	0.28	0.33	0.28	0.24	0.26	0.32
MgO	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SrO	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.35	0.37	0.35	0.43	0.42	0.46	0.31	0.30	0.46
K ₂ O	0.16	0.19	0.27	0.19	0.08	0.06	0.05	0.04	0.01	0.02	0.00	0.02	0.01	0.01	0.04	0.00	0.02
BaO	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Nb ₂ O ₅	0.02	0.00	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02	0.03	na	na	na	na	na	na	na	na	na
SO ₃	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
F	3.74	3.61	3.79	3.67	3.41	4.00	3.13	3.12	4.48	3.03	2.58	3.95	3.62	3.89	6.28	3.93	4.22
Cl	0.04	0.10	0.09	0.04	0.02	0.22	0.17	0.17	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01
Total	100.85	101.01	100.51	100.71	100.00	101.02	100.24	99.93	99.54	99.48	98.79	94.98	95.28	95.29	98.24	100.85	94.62
ppm																	
V	33.99	11.90	0.00	0.85	2.72	28.89	5.29	5.44	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Y	2364.47	1868.34	1578.94	1454.91	1592.33	1692.14	2125.38	2327.85	12907.12	10804.50	12592.12	18041.62	18931.50	17734.50	9229.50	8205.75	17262.00
La	3098.44	2111.73	3090.18	2154.04	2087.37	1869.18	2030.30	1918.92	1748.03	1330.20	1799.20	4868.92	4391.40	4783.65	2762.75	912.39	5849.52
Ce	7193.27	4866.66	6612.68	4669.22	4719.81	4542.22	5148.41	5022.05	4747.13	4294.60	4883.74	15120.80	14625.59	15419.63	4055.55	4490.99	16316.12
Pr	741.28	455.02	632.33	420.84	422.12	479.59	526.94	512.70	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Sm	590.74	131.52	336.34	166.01	255.27	314.78	224.22	215.60	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Eu	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Gd	455.49	407.77	342.70	440.31	171.78	165.93	403.92	364.39	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Yb	133.93	107.58	85.62	45.01	274.00	88.92	185.40	93.09	na	na	na	na	na	na	na	na	na
F/Cl	85.86	37.47	42.89	83.76	138.55	18.55	18.36	18.42	448.00	303.00	258.00	197.50	181.00	194.50	628.00	393.00	422.00
Eu/Eu*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Ce/Ce*	0.28	0.28	0.28	0.29	0.33	0.28	0.30	0.33	na	na	na	na	na	na	na	na	na
(La/Sm)N	3.30	10.11	5.78	8.17	5.15	3.74	5.70	5.60	na	na	na	na	na	na	na	na	na
(La/Ce)N	1.12	1.13	1.22	1.20	1.15	1.07	1.03	1.00	na	na	na	na	na	na	na	na	na
(La/Yb)N	15.62	13.25	24.36	32.30	5.14	14.19	7.39	13.91	na	na	na	na	na	na	na	na	na
Ce/La	2.32	2.30	2.14	2.17	2.26	2.43	2.54	2.62	2.72	3.23	2.71	2.62	3.33	3.22	1.47	4.92	2.79
La/Sm	5.24	16.06	9.19	12.98	8.18	5.94	9.05	8.90	na	na	na	na	na	na	na	na	na
La/Yb	23.14	19.63	36.09	47.86	7.62	21.02	10.95	20.61	na	na	na	na	na	na	na	na	na

na=não analisadas

Tabela 5 - Valores mínimo, máximo e médio (negrito entre parentes) das apatitas estudadas.

Amostra	MC-49	ADR-4B	FRM-27	FRM-100	PDE-106	MASF-28	AC-59. 107	SLA-06-DT (Sn)
(wt %)								
CaO	54.87 – 55.55 (55,25)	54.55 – 55.31 (55,04)	55.02 – 55.53 (55,25)	55.20 – 56.93 (56,39)	55.18 – 55.63 (55,49)	54.34 – 55.13 (54,82)	54.17 – 54.76 (54,47)	49.44 – 54.65 (51,74)
P ₂ O ₅	41.36 – 41.92 (41,60)	41.69 – 42.39 (41,90)	41.15 – 42.24 (41,98)	40.42 – 42.68 (41,67)	41.34 – 41.77 (41,63)	40.82 – 41.54 (41,26)	40.67 – 41.52 (41,14)	35.16 – 41.05 (38,76)
SiO ₂	0.18 – 0.28 (0,23)	0.17 – 0.42 (0,23)	0.06 – 0.10 (0,09)	0.05 – 0.16 (0,12)	0.05 – 0.18 (0,11)	0.06 – 0.20 (0,10)	0.37 – 0.74 (0,50)	0.45 – 3.31 (1,56)
FeO	0.03 – 0.60 (0,16)	0.00 – 0.30 (0,14)	0.00 – 0.49 (0,23)	0.00 – 0.38 (0,12)	0.00 – 0.57 (0,18)	0.00 – 0.31 (0,10)	0.19 – 0.67 (0,48)	0.35 – 1.54 (0,63)
MnO	0.00 – 0.09 (0,04)	0.00 – 0.08 (0,03)	0.00 – 0.09 (0,05)	0.00 – 0.17 (0,08)	0.01 – 0.17 (0,09)	0.03 – 0.16 (0,10)	0.04 – 0.24 (0,10)	0.21 – 0.33 (0,27)
SrO	0.03 – 0.05 (0,04)	0.05 – 0.07 (0,06)	0.03 – 0.05 (0,04)	0.02 – 0.06 (0,04)	0.05 – 0.10 (0,08)	0.03 – 0.05 (0,04)	0.00 – 0.01 (0,01)	na
Na ₂ O	0.00 – 0.10 (0,03)	0.02 – 0.14 (0,06)	0.00 – 0.02 (0,01)	0.00 – 0.15 (0,03)	0.00 – 0.02 (0,01)	0.03 – 0.09 (0,05)	0.0 – 0.01 (0,01)	0.30 – 0.46 (0,38)
F	2.28 – 2.64 (2,37)	1.77 – 2.44 (2,16)	2.7 – 3.27 (3,14)	2.28 – 3.98 (3,00)	3.27 – 3.52 (3,39)	2.89 – 3.72 (3,45)	3.12 – 4.68 (3,64)	2.58 – 6.28 (3,99)
Cl	0.08 – 0.12 (0,10)	0.06 – 0.11 (0,07)	0.01 – 0.02 (0,02)	0.03 – 0.05 (0,04)	0.01 – 0.04 (0,02)	0.01 – 0.02 (0,01)	0.02 – 0.22 (0,10)	≤ 0.02
F/Cl	19.08 – 31.47 (23,61)	16.04 – 35.16 (28,33)	150.49 – 278.42 (200,30)	46.22 – 129.14 (79,51)	81.75 – 350 (212,92)	328 – 389 (350,10)	18.36 – 138.55 (55,48)	181 – 628 (336,11)
(ppm)								
V	0.00 – 40.79 (19,68)	3.4 – 38.52 (20,62)	0.00 – 56.65 (23,96)	0.00 – 32.63 (13,41)	0.00 – 54.38 (18,35)	6.80 – 27.19 (13,48)	0.00 – 33.99 (11,13)	na
Y	586.69 – 1247.4 (916,76)	177.19 – 532.88 (326,30)	133.88 – 745.50 (321,26)	102.38 – 820.97 (402,88)	0.00 – 527.63 (216,01)	183.75 – 1071 (611,75)	1454.91 – 2364.47 (1875,55)	8205.75 – 18931.50 (13967,62)
La	225 – 685.33 (383,74)	187.16 – 608.27 (384,91)	30.28 – 192.66 (105,41)	28.90 – 191.98 (107,01)	28.90 – 123.86 (85,99)	33.03 – 176.15 (97,98)	1869.18 – 3098.44 (2295,02)	912.39 – 5849.52 (3160,67)
Ce	1056.58 – 2324.04 (1661,49)	789.29 – 1812.90 (1269,75)	354.33 – 526.51 (443,47)	236.93 – 520.82 (369,82)	105.30 – 548.57 (340,25)	287.45 – 687.31 (455,92)	4542.22 – 7193.27 (5346,79)	4055.55 – 16316.12 (9328,23)
Pr	119.63 – 444.34 (203,58)	0.00 – 1192.03 (235,76)	5.70 – 207.93 (87,72)	0.00 – 279.85 (111,91)	19.94 – 370.28 (123,17)	0 – 147.40 (56,61)	420.84 – 741.28 (523,85)	na
Sm	43.12 – 441.98 (214,78)	77.62 – 220.39 (165,80)	64.68 – 379.46 (180,74)	21.56 – 237.16 (133,22)	36.22 – 195.48 (95,57)	12.94 – 232.85 (120,37)	131.52 – 590.74 (279,31)	na
Eu	0.00 – 153.72 (44,56)	0.00 – 19.26 (4,62)	0.00 – 164.08 (63,69)	0.00 – 194.31 (27,41)	0.00 – 73.41 (28,14)	0.00 – 172.72 (34,40)	0,00	na
Gd	5.21 – 364.39 (211,73)	58.56 – 352.82 (173,20)	0.00 – 537.91 (173,15)	47.72 – 435.97 (189,70)	31.23 – 497.42 (195,60)	11.57 – 578.40 (199,26)	165.93 – 455.49 (344,03)	na
Yb	0.00 – 212.96 (69,20)	2.93 – 254.68 (96,85)	0.00 – 169.79 (79,70)	0.00 – 219.55 (76,93)	23.42 – 131.73 (58,56)	11.71 – 210.77 (111,60)	45.01 – 274.00 (126,69)	na
Ce/La	3.39 – 5.39 (4,52)	2.65 – 6.02 (3,54)	2.5 – 15.51 (5,63)	1.93 – 11.74 (4,52)	1.31 – 9.16 (4,30)	3 – 17.25 (5,84)	2.14 – 2.62 (2,34)	1.47 – 4.92 (3,00)
La/Sm	0.57 – 10.19 (2,96)	0.92 – 6.64 (2,63)	0.21 – 1.80 (0,74)	0.17 – 3.37 (1,14)	0.45 – 3.05 (1,25)	0.18 – 9.09 (1,91)	5.24 – 16.06 (9,44)	na
La/Yb	0.00 – 56.14 (11,55)	1.81 – 63.93 (10,76)	0 – 9.40 (1,87)	0 – 4.79 (1,89)	0.33 – 3.76 (1,97)	0.27 – 15.04 (2,22)	7.62 – 47.86 (23,36)	na
ΣETRL	1483.14 – 3284.88 (2463)	1330.67 – 2965.50 (2056,23)	572.35 – 1125.36 (817,36)	389.85 – 1062.53 (699)	316.70 – 980.01 (644)	455.99 – 1028.19 (730)	7205.77 – 11623.73 (8444,97)	5403.38 – 22165.64 (12488,91) (**)
ΣETRP	86 – 577.36 (280)	108.37 – 361.26 (270)	20.49 – 537.91 (252,85)	80.39 – 611.61 (283)	69.87 – 550.11 (254)	172.26 – 727.69 (310)	254.85 – 589.42 (470,73)	na

MC-49=sanukitoides de Ourilândia do Norte; ADR-4B=sanukitoides de Rio Maria; FRM-27 e 100=sanukitoides de Bannach; PDE-106=Leucogranodiorito Nova Canadá (alto Ba-Sr); MASF-28=Trondhjemito Mogno; AC-59, 107=Granito Seringa; SLA-06-DT=Granito Antônio Vicente (Sn). ΣETRL= (La+Ce+Sm+Pr); ΣETRP= (Gd+Yb) (**)= La+Ce

3.2.3 Diagramas geoquímico

As Figuras 8 e 9 apresentam diagramas apresentando relações entre óxidos e elementos-traço das apatitas estudadas. No diagrama $\text{CaO} \times \text{P}_2\text{O}_5$ (Figura 8A), as apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte, Rio Maria e as do Leucogranodiorito Nova Canadá são composicionalmente mais homogêneas, enquanto as de Bannach mostram maior dispersão. As apatitas do Trondhjemitó Mogno são nitidamente mais empobrecidas em ambos os óxidos e tendem a plotar abaixo das demais apatitas, embora com algumas superposições. O Granito paleoproterozoico Seringa é predominantemente mais empobrecido e mostra apatitas com grande variação de Ca e P e se destaca das apatitas arqueanas.

O comportamento do F é bem evidenciado no diagrama $\text{CaO}+\text{P}_2\text{O}_5 \times \text{F}$ (Figuras 8B), onde as apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte e Rio Maria são mais empobrecidas em F (2,28-2,64 e 1,77-2,44 wt%, respectivamente) e mostram menor espalhamento em comparação às apatitas dos sanukitoides de Bannach (2,28-3,98 wt%). As apatitas do Leucogranodiorito Nova Canadá e do Trondhjemitó Mogno possuem conteúdos de F (3,27-3,52 e 2,89-3,72 wt%, respectivamente) que se sobrepõem aos das apatitas dos sanukitoides de Bannach, porém são mais empobrecidas em $\text{CaO}+\text{P}_2\text{O}_5$. As apatitas do Granito Seringa mostram grande variação e um maior enriquecimento em F (3,12 a 4,68 wt%).

O Ce é claramente mais enriquecido nas apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte e Rio Maria, enquanto o Y, embora com superposições, é mais elevado nas apatitas de Ourilândia do Norte e do Trondhjemitó Mogno (Figura 8C). As apatitas do Leucogranodiorito Nova Canadá mostram conteúdos de Y similares aos encontrados nos sanukitoides Rio Maria (Figuras 8D). As apatitas do Granito Seringa são nitidamente mais enriquecidas nesses elementos em comparação às apatitas das rochas arqueanas (Figuras 8C).

A soma $\text{La}+\text{Ce}+\text{Pr}+\text{Sm}+\text{Eu}$ é mais elevado nas apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte e Rio Maria, enquanto $(\text{Gd}+\text{Yb}+\text{Y})$ apresenta grande superposição, porém com maiores valores nas apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte e do Trondhjemitó Mogno, e menores nas apatitas dos sanukitoides de Rio Maria, Bannach e do Leucogranodiorito Nova Canadá (Figuras 8E e F). As apatitas do Granito paleoproterozoico Seringa apresentam maiores conteúdos de ETRL e ETRP+Y em relação às apatitas das rochas arqueanas (Figuras 8E).

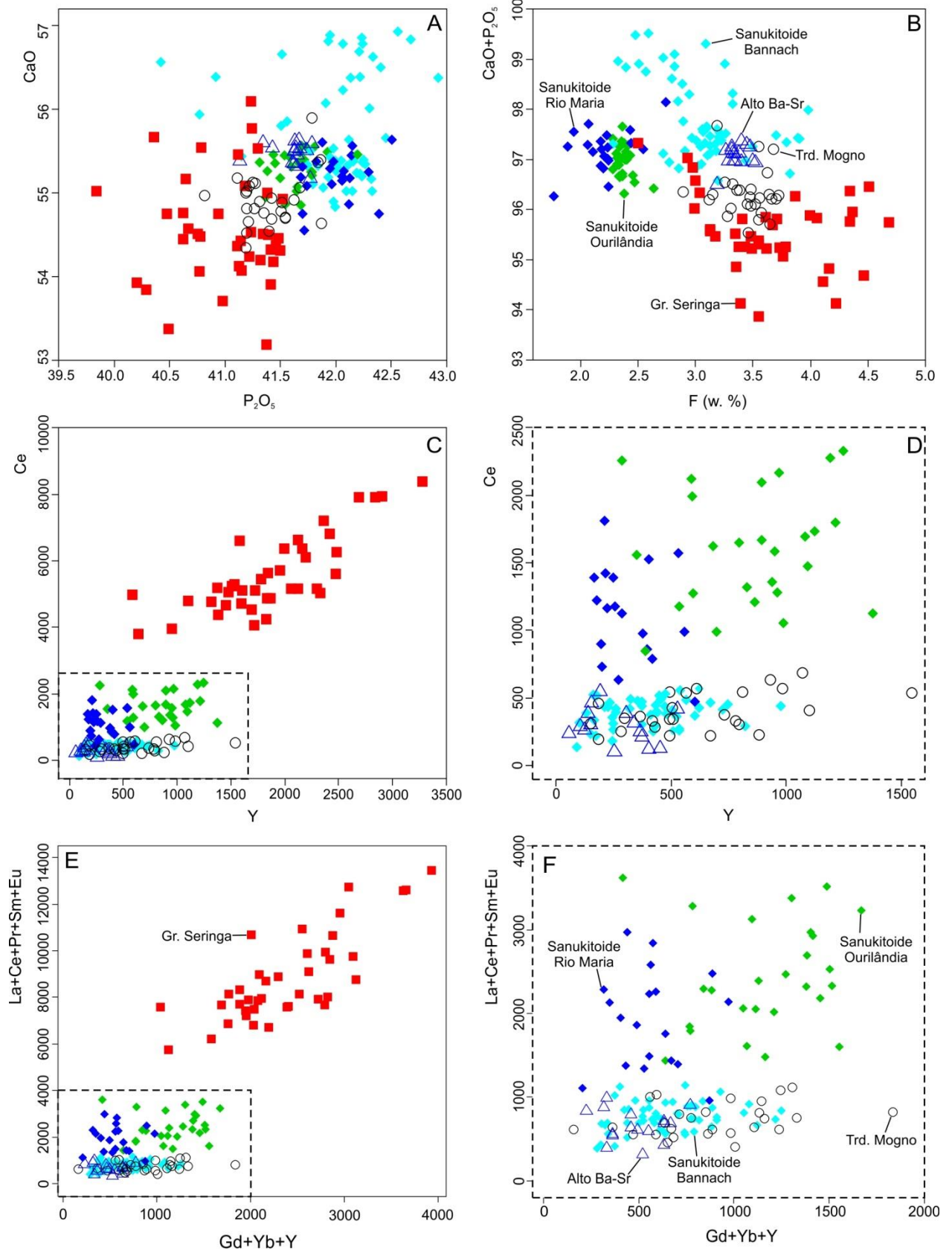


Figura 8 - Diagramas geoquímicos das apatitas deste estudo. D e F=detalhes das figuras C e E. Óxidos em % em peso; elementos-traço em ppm.

As Figuras 9A e B mostram o comportamento do Sr *versus* o total de ETR+Y. As apatitas do Leucogranodiorito Nova Canadá, mais enriquecidas em Sr (548 a 850 ppm), se separam claramente das demais. As apatitas dos sanukitoides de Rio Maria apresentam conteúdos de Sr intermediários (410 a 566 ppm) em relação às apatitas anteriores e a dos sanukitoides de Ourilândia do Norte, Bannach e do Trondhjemito Mogno (229 a 490 ppm). Os conteúdos de ETR+Y mostram valores crescentes das apatitas dos sanukitoides de Bannach (972-2.089 ppm), para as apatitas dos sanukitoides de Rio Maria (1.230-3.197 ppm) e Ourilândia do Norte (2.077-5.005 ppm). As apatitas do Trondhjemito Mogno são comparativamente mais empobrecidas (773-2.657 ppm) e se superpõem às apatitas dos sanukitoides de Bannach. As apatitas do Leucogranodiorito Nova Canadá apresentam os menores conteúdos de ETR+Y (725-1.674 ppm). O granito paleoproterozoico Seringa apresenta as apatitas mais empobrecidas em Sr (13-243 ppm) e as mais enriquecidas em ETR+Y (6.869-17.360 ppm) e se separam nitidamente das apatitas arqueanas (Figura 9A).

As figuras 9C e D dão destaque para o maior enriquecimento em (Fe+Mn) e (Y+La+Ce) encontrado nas apatitas do granito paleoproterozoico Antônio Vicente, mineralizado em Sn, em relação as apatitas das outras rochas estudadas.

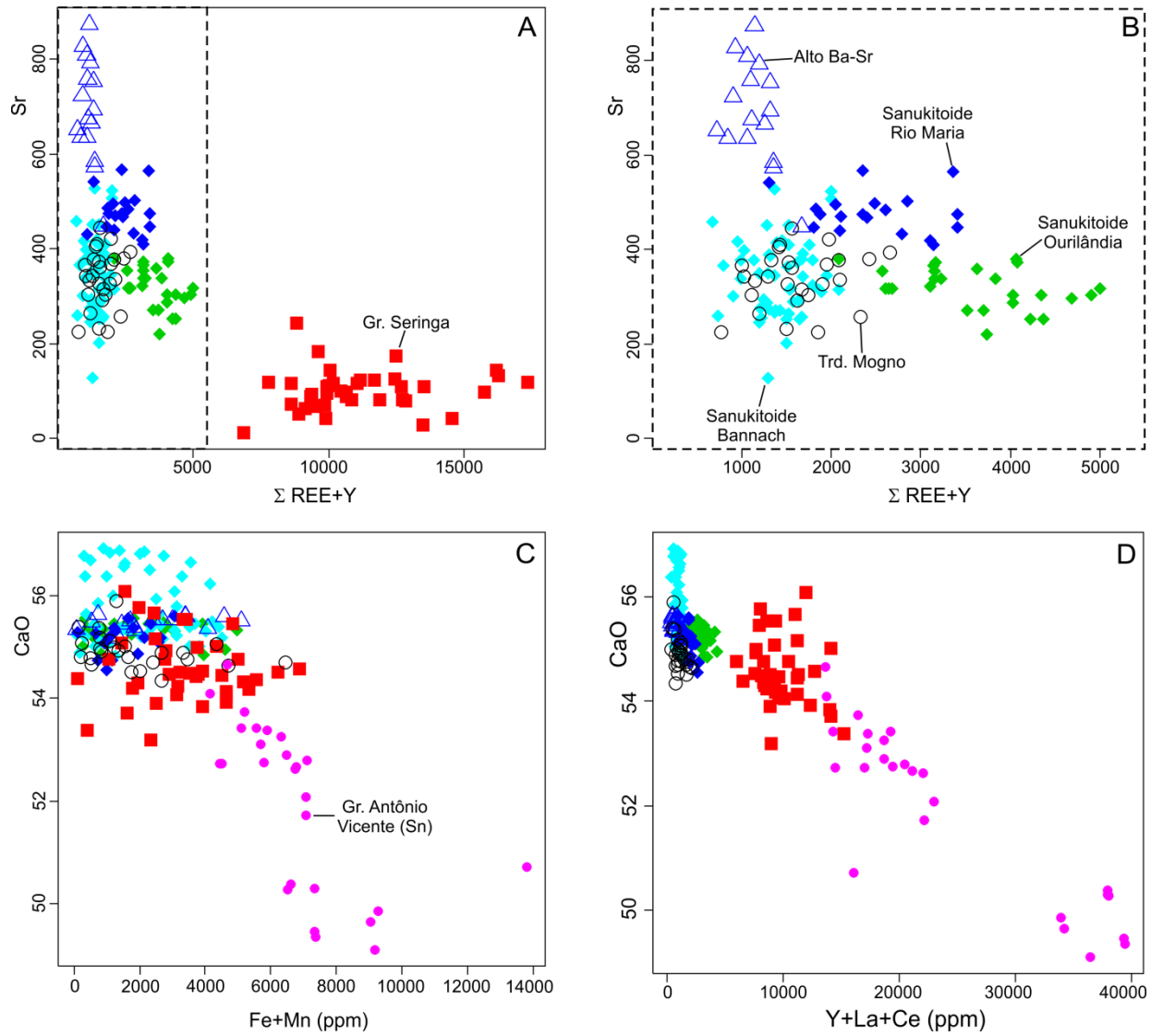


Figura 9 - Diagramas geoquímicos das apatitas deste estudo. Óxidos em % em peso; elementos-traço em ppm. Figura B=detalhe da Figura A.

CAPÍTULO 4

4 DISCUSSÃO

4.1 ZONEAMENTO COMPOSICIONAL

O zoneamento composicional das apatitas foi investigado com a realização de análises nas zonas claro-escuras identificadas nas imagens de elétrons retroespalhados (Figura 6 e 7). As principais diferenças observadas estão nas concentrações dos ETR (Figura 10). As apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte e Rio Maria mostram zonas claras mais enriquecidas em Ce (1.486 a 2.758 e 828 a 2.476 ppm, respectivamente) e na somatória (La+Ce+Pr+Sm) (2.009 a 4.168 e 1.645 a 4.181 ppm, respectivamente) em comparação às zonas escuras (444 a 1.870 e 504 a 1.298 ppm, e 842 a 2.915 e 948 a 2.063 ppm, neste mesmo sentido). A somatória (Gd+Yb+Y) também é mais elevada e variável nas zonas claras das apatitas de Ourilândia do Norte (925 a 3.388 ppm) e Rio Maria (197 e 1.686 ppm) em relação às zonas escuras (229 a 1.724 ppm e 87 e 876 ppm, respectivamente).

Por outro lado, apatitas dos sanukitoides de Bannach mostram zonas claras e escuras mais homogêneas em termos de conteúdos de Ce (248 a 794 nas zonas claras e 145 a 546 ppm nas escuras) e na somatória (La+Ce+Pr+Sm) (586 a 1.251 ppm nas zonas claras, contra 261 a 1.289 ppm nas zonas escuras), porém apresentam maiores variações em relação aos conteúdos de Y (961 a 1.693 ppm nas zonas claras e 142 a 1.142 ppm nas zonas escuras), e (Gd+Yb+Y) (132 a 1.055 ppm nas zonas claras, contra 35 a 870 ppm nas escuras) (Figuras 10). As apatitas do Trondhjemito Mogno apresentam comportamento similar ao das apatitas dos sanukitoides de Bannach (7D-F).

As apatitas do Granito Seringa (Figura 7G-L) apresentam zonas claras nitidamente mais enriquecidas em Ce (4.431 a 8.248 ppm), (La+Ce+Pr+Sm) (6.984 a 12.974 ppm), Y (1.055 a 4.355 ppm) e (Gd+Yb+Y) (1.779 a 4.729 ppm) em relação às zonas escuras (3.005 a 5.925 ppm, 4.854 a 9.713 ppm, 441 a 2.016 ppm e 615 a 2.693 ppm, neste mesmo sentido; Figura 10).

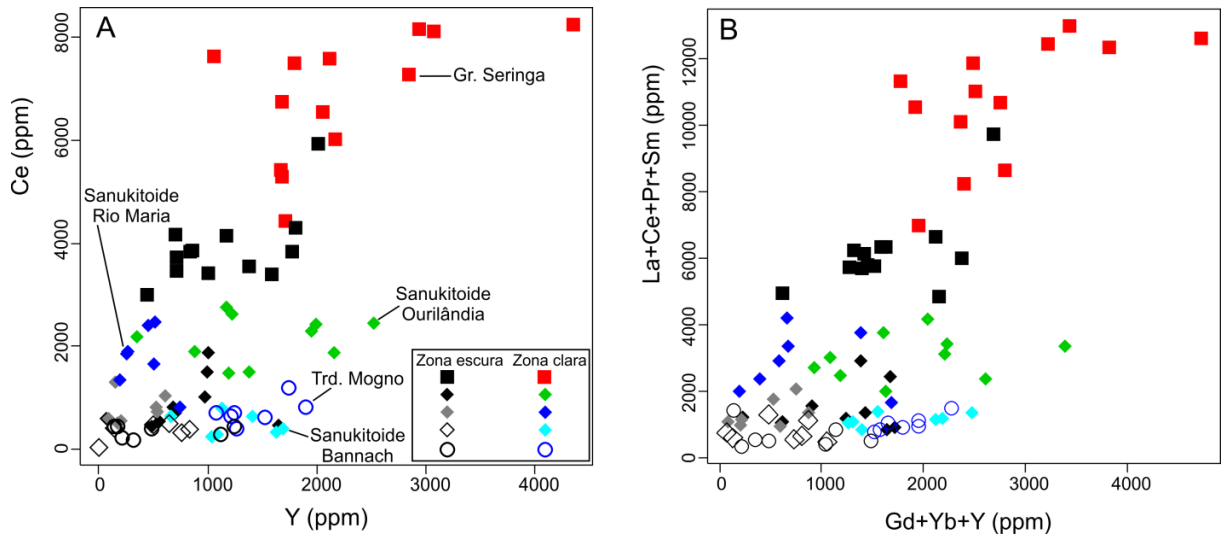


Figura 10 - Diagramas mostrando variações composicionais das zonas claro-escuras das apatitas deste estudo.

4.2 CARACTERÍSTICA DAS FONTES DOS MAGMAS SANUKITOIDES

As principais variações composicionais entre as apatitas das rochas sanukitoides do Domínio Rio Maria estão, além de CaO, P₂O₅ e F, no conteúdo mais elevado de ETRL (La, Ce, Pr, Sm, Eu) encontradas nas apatitas de Ourilândia do Norte e Rio Maria em relação às de Bannach, as quais mostram concentrações mais baixas e *trend* sub-horizontal no diagrama (La+Ce+Pr+Sm) vs (Gd+Yb+Y) (Figura 8E-F). Este enriquecimento em ETR fica mais evidente no diagrama Σ ETR+Y vs (La+Ce+Pr+Sm+Eu), onde as apatitas estudadas formam um *trend* de enriquecimento no sentido dos sanukitoides de Bannach – Rio Maria – Ourilândia do Norte, com maior superposição entre as duas últimas (Figura 11).

Com base nas concentrações de ETRL e Σ ETR+Y são sugeridas fontes magmáticas similares e mais enriquecidas em ETRL para as apatitas de Ourilândia do Norte e Rio Maria. Por outro lado, as apatitas dos sanukitoides de Bannach apresentaram concentrações mais elevadas e variáveis de CaO, P₂O₅ e F e mais baixas de ETRL, sugerindo origem a partir de um magma composicionalmente diferente e mais empobrecido em ETRL. Watson & Green (1981) sugerem que a estrutura da apatita não concentra ETRL em relação às ETRP e que apatitas enriquecidas em ETRL provavelmente cristalizaram a partir de uma fonte enriquecida em ETRL. As apatitas do Trondhjemito Mogno e do Leucogranodioritos Nova Canadá são igualmente mais empobrecidas em ETRL e tendem a acompanhar as apatitas dos sanukitoides de Bannach (Figuras 8E-F), porém as apatitas dos leucogranodioritos Nova Canadá são mais enriquecidas em Sr (Figura 9A-B).

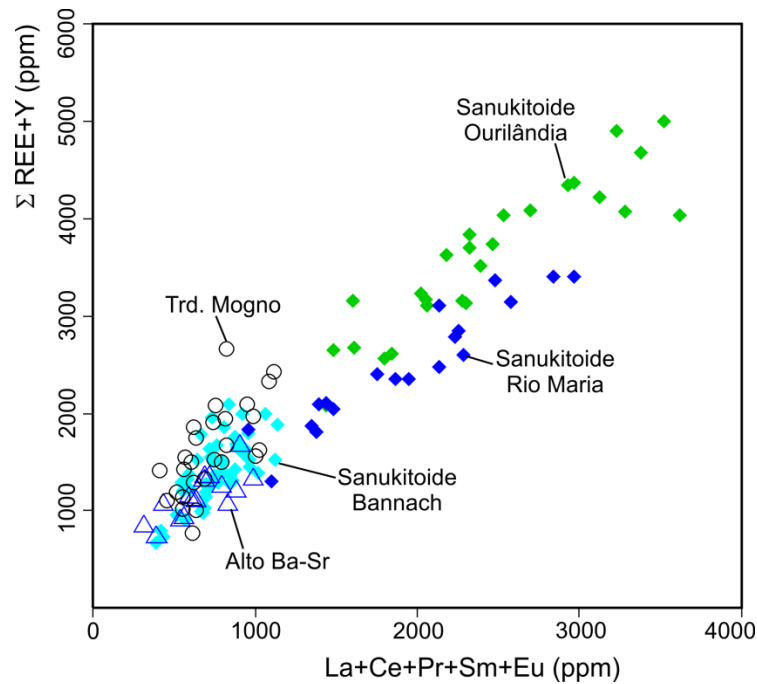


Figura 11 - Diagrama Σ ETR+Y x (La+Ce+Pr+Sm+Eu) mostrando maior enriquecimento das apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte e Rio Maria em relação às demais apatitas estudadas

Levando em consideração a ampla área de ocorrência das rochas sanukitoides no Domínio Rio Maria, Província Carajás, e as diferenças geoquímicas em rocha total observadas nas regiões de Bannach, Redenção e Xinguara, tais rochas foram consideradas cogenéticas, mas não comagmáticas (Oliveira *et al.* 2009). Segundo esses autores, os contrastes geoquímicos observados estariam ligados a diferenças na rocha-fonte, em particular no grau de metassomatismo de uma possível fonte mantélica modificada.

As diferenças geoquímicas obtidas, sobretudo nos conteúdos de F e ETR+Y nas apatitas das rochas sanukitoides deste estudo, também apontam para a existência de fontes magmáticas distintas; uma mais mantélica e empobrecida em ETRL e enriquecida em F (sanukitoides Bannach) e outra com maior contribuição crustal (ou fonte mantélica modificada), enriquecida em ETR+Y e empobrecida em F (sanukitoides Rio Maria e Ourilândia do Norte).

4.3 APATITA COMO INDICADOR METALOGENÉTICO

Vários trabalhos têm demonstrado a importância da apatita de rochas granitoides como concentradora de elementos como ETR, Y, Sr, Mn e Fe (Belousova *et al.* 2001; Chu *et al.* 2009; Cao *et al.* 2011; Ding *et al.* 2015; Nash 1984; Roeder *et al.* 1987; Sha & Chappell 1999; Kempe & Götze 2002). Mineralizações de Sn (\pm W) geralmente estão associadas a granitos tipo S ou A reduzidos, fracionados e hidrotermalmente alterados (Belousova *et al.* 2001, 2002; Cao *et al.* 2011; Ding *et al.* 2015; Teixeira *et al.* 2002, 2005), enquanto depósitos de Cu-Pb-Zn associam-se a granitos tipo I intermediários e oxidados (Cao *et al.* 2011; Ding *et al.* 2015).

Segundo Belousova *et al.* (2001), concentrações de Mn são mais elevadas em apatitas de granitos reduzidos, pois o Mn^{2+} possui raio iônico mais próximo ao do Ca^{2+} , em comparação ao do Mn^{4+} , e substitui diretamente o Ca^{2+} na estrutura da apatita. Sha & Chappell (1999) admitem que o conteúdo mais elevado de Mn e Fe encontrado em apatitas de granitos tipo S em relação a apatitas de granitos máficos tipo I resultariam da fugacidade de oxigênio mais baixa e do caráter mais aluminoso dos granitos reduzidos, onde os cátions Mn^{2+} e Fe^{2+} são mais abundantes e substituiriam o Ca^{2+} mais facilmente nas apatitas.

Apatitas de rochas granitoides associadas a depósitos de Mo-W do Cazaquistão Central (Cao *et al.* 2011) apresentaram valores elevados de F, Mn e Y. A diminuição nos conteúdos de Sr com o aumento de Y e SiO_2 sugerem que a cristalização fracionada foi um processo importante na formação daqueles depósitos. Apatitas de granitos mineralizados a Sn, formados em condições de baixa a média fugacidade de oxigênio, dos depósitos de Furong e Hehuaping, sudeste da Província de Hunan, China, apresentaram concentrações mais elevadas de F (~3,9 wt.%), ETR (4.600 a 5.200 ppm) e Y+La+Ce (7.000 a 8.000 ppm), em relação às apatitas de depósitos de W e Cu-Pb-Zn daquela região, indicando que a composição da apatita é um indicador importante para a história petrogenética e metalogenética de seus magmas geradores (Ding *et al.* 2015).

As apatitas do granito paleoproterozoico Antônio Vicente, mineralizado em Sn, utilizadas comparativamente nos diagramas das Figuras 9C e D, apresentaram enriquecimento em F, Fe+Mn e Y+La+Ce em relação às apatitas do granito paleoproterozoico Seringa, isento de mineralização, e das rochas arqueanas e se separam nitidamente. Tais resultados seguem a tendência encontrada em apatitas de granitos estaníferos de outras regiões, indicando que a composição química da apatita pode ser utilizada como um bom indicador metalogenético de rochas granitoides.

CAPÍTULO 5

5 CONCLUSÕES

- 1) Os resultados deste estudo permitiram concluir que as apatitas das rochas sanukitoides do Domínio Rio Maria, Província Carajás, são composicionalmente diferentes entre si. As apatitas dos sanukitoides de Ourilândia do Norte e Rio Maria são mais empobrecidas em F e enriquecidas em ETRL+Y quando comparadas às apatitas dos sanukitoides de Bannach. Esse dado sugere que as rochas sanukitoides de Ourilândia do Norte e Rio Maria foram geradas a partir de uma fonte distinta (ou modificada) daquela que deu origem aos sanukitoides de Bannach;
- 2) As apatitas do Leucogranodiorito Nova Canadá, rico em Ba e Sr, e do Trondhjemitó Mogno apresentaram boa correlação geoquímica com as apatitas dos sanukitoides de Bannach, ou seja, são igualmente empobrecidas em ETRL; entretanto estas últimas possuem conteúdos bem mais elevados de Sr e coincidentes a inferiores de Y;
- 3) As apatitas do granito paleoproterozoico Seringa são mais enriquecidas em F e ETR+Y quando comparadas às apatitas das rochas arqueanas, e se destacam em todos os diagramas geoquímicos. Tal fato demonstra que composições de apatita podem ser utilizadas também para registrar processos petrogenéticos e diferenciar composições magmáticas que marcaram mudanças durante a evolução crustal de uma região, por exemplo, distinguindo entre granitoides arqueanos e paleoproterozoicos, sendo, desta forma, úteis em estudos de proveniência;
- 4) Apatitas de granitos mineralizados a Sn (Mo, W), como o Granito Antônio Vicente, mostram concentrações elevadas de F, Mn, Fe, Y e ETR (exceto Eu), quando comparadas às apatitas dos outros granitoides e podem ser utilizadas como um bom indicador metalogenético;

REFERÊNCIAS

- Abreu F.A.M. & Ramos C.R. 1974. Estanho do Sul do Pará. *In: 28º Congresso Brasileiro de Geologia*. Porto Alegre, *Anais*, p. 11-23.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira D.C. 2006. Geologia, Petrografia e Geoquímica do Granito Anorogênico Bannach, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**:282-295.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Dias S.B., Althoff F.J. 2010. Origin of the archean leucogranodiorite-granite suites: evidence from the Rio Maria terrane and implications for granite magmatism in the Archean. *Lithos*, **120**:235-257.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Macambira M.B., Pimentel M.M., Rämö O.T., Guimarães F.V., Leite A.A.S. 2011. Zircon geochronology and origin of the TTG suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane: Implications for the growth of the Archean crust of the Carajás Province, Brazil. *Precambrian Research*, **187**:201-221.
- Almeida J.A.C., Dall'Agnol R., Leite A.A.S. 2013. Geochemistry and zircon geochronology of the Archean granite suites of the Rio Maria granite-greenstone terrane, Carajás Province, Brazil. *Brazil Journal of South American Earth Sciences*, **42**:103-126.
- Althoff F.J., Dall'Agnol R., Souza Z.S. 1991. Região de Marajoara – SE do Pará: Prolongamento dos Terrenos Arqueanos de Rio Maria ou retrabalhamento? *In: 3º simpósio de Geologia da Amazônia*. Belém, p. 130-141.
- Althoff F.J., Barbey P., Macambira M.J.B., Scheller T., Leterrier J., Dall'agnol R., Lafon J.M. 1998. La croissance du Craton sud-amazonien (région de Rio Maria, Brésil). *In: XVII Réunion des Sciences de la Terre*. França, p. 62.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M., Dall'Agnol R. 1995. Composição e estrutura dos granitóides arqueanos da região de Marajoara. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, **7**:5-26.
- Althoff F.J., Barbey P., Boullier A.M. 2000. 2.8-3.0 Ga plutonism and deformation in the SE Amazonian craton: the Archean granitoids of Marajoara (Carajás mineral province). *Precambrian Research*, **104**:187-206.

- Araújo O.J.B. & Maia R.G.N. 1991. *Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil, Serra dos Carajás, folha sb-22-Z-A*. Relatório Final. Brasília, CPRM, 136 p.
- Araújo O.J.B., Macambira E.M.B., Vale A.G., Oliveira J.R., Silva Neto C.S., Costa J.B.S. 1994. Primeira integração das investigações geológicas do Programa Grande Carajás na região SSE do Estado do Pará. *In: 4º Simpósio de Geologia da Amazônia*. Belém, p. 229-301.
- Avelar V.G., Lafon J.M., Correia Jr F.C., Macambira E.M.B. 1999. O magmatismo arqueano da região de Tucumã – Província Mineral de Carajás: novos resultados geocronológicos. *Revista Brasileira de Geociências*, **29**(4):453-460.
- Barros C.E.M., Macambira M.J.B., Barbey P., Scheller T. 2004. Dados isotópicos Pb-Pb em zircão (evaporação) e Sm-Nd do Complexo Granítico Estrela, Província Mineral de Carajás, Brasil: implicações petrológicas e tectônicas. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**(4): 531-538.
- Barros C.E.M., Sardinha A.S., Barbosa J.P.O., Macambira M.J.B. 2009. Structure, petrology, geochemistry and zircon U/Pb and Pb/Pb geochronology of the synkinematic Archean (2.7 Ga) A-type granites from the Carajás Metallogenic Province, northern Brazil. *Canadian Mineralogist*, **47**(6):1423-1440.
- Belousova E.A., Walters S., Griffin W.L., O'Reilly S.Y. 2001. Trace element signatures of apatites from granitoids of Mount Isa Inlier, north-west Queensland, Australia. *Australian Journal of Earth Sciences*, **48**:603- 619.
- Belousova E.A., Griffin W.L., O'Reilly S.Y., Fisher N.Y. 2002. Apatite as an indicator mineral for mineral exploration: trace-element compositions and their relationship to host rock type. *Journal of Geochemical Exploration*, **76**:45-69.
- Bouzari F., Hart C.J., Bissig T., Barker S. 2016. Hydrothermal alteration revealed by apatite luminescence and chemistry: a potential indicator mineral for exploring covered porphyry copper deposits. *Economic Geology*, **111**(6):1397-1410.
- Bruand E., Storey C., Fowler M. 2014. Accessory mineral chemistry of high Ba-Sr granites from northern Scotland: Constraints on petrogenesis and records of whole-rock signature. *Journal of Petrology*, **55**:1619–1651.
- Bruand E., Storey C., Fowler M. 2015. An apatite for progress: Inclusions in zircon and titanite constrain petrogenesis and provenance. *Geology*, **44**(2):91–94.

Cao M., Li G., Qin K., Seitmuratova E.Y., Liu Y. 2011. Major and trace element characteristics of apatite in granitoids from central Kazakhstan: Implications for petrogenesis and mineralization. *Resource Geology*, **62**:63–83.

Chu M.F., Wang K.L., Griffin W.L., Chung S.L., O'Reilly S.Y., Pearson N.J., Iizuka Y. 2009. Apatite composition: Tracing petrogenetic processes in Transhimalayan granitoids: *Journal of Petrology*, **50**:1829–1855.

Cordani U.G & Sato K. 1999. Crustal evolution of the South American Platform, based on Nd isotopic systematic on granitic rocks. *Episodes*, **22**(3):167-173.

Cordeiro A.A.C & Saueressig R. 1980. Serra das andorinhas: Geologia e principais ocorrências de ouro. In: Congresso Brasileiro de Geologia. Balneário Camboriú, *Anais*, v.2, p. 344.

Costa J.B.S., Araújo J.B., Santos A., Jorge João X.S., Macambira M.J.B., Lafon J.M. 1995. A Província Mineral de Carajás: aspectos tectono-estruturais, estratigráficos e geocronológicos. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, **7**: 199-235.

CPRM/DNPM. 1997. *Projeto Especial Mapas de Recursos Minerais, de Solo e de Vegetação para a Área do Projeto Grande Carajás – Sub Programa Mapas metalogenéticos e de Previsão de Recursos Minerais. Folha São Felix do Xingu-SB-22-Y-B*. Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil, Brasília, CPRM, Superintendência Regional de Belém.

Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Magalhães M.S. 1993. Diagnostic features of the Tin-specialized anorogenic granites of the Eastern Amazonian Region. *Academia Brasileira de Ciências*, **65**(1): 33-50.

Dall'Agnol R., Souza Z.S., Althoff F.J., Barros C.E.M., Leite A.A.S., Jorge João X.S. 1997. General aspects of the granitogenesis of the Carajás metallogenic province. In: 2nd International Symposium on Granites and Associated Mineralizations. Salvador, *Excursions Guide*, p. 135-161.

Dall'Agnol R., Ramö O.T., Magalhães M.S., Macambira M.J.B. 1999. Petrology of the anorogenic, oxidized Jamon and Musa granites, Amazonian craton: implications for the genesis of Proterozoic A-type granites. *Lithos*, **46**:431-462.

Dall'Agnol R., Teixeira N.P., Ramö O.T., Moura C.A.V., Macambira M.J.B., Oliveira D.C. 2005. Petrogenesis of the Paleoproterozoic, rapakivi, A-type granites of the Archean Carajás Metallogenic Province, Brazil. *Lithos*, **80**:101-129.

Dall'Agnol R., Oliveira M.A., Almeida J.A.C., Althoff F.J., Leite A.A.S., Oliveira D.C., Barros C.E.M. 2006. Archean and Paleoproterozoic granitoids of the Carajás Metallogenic Province, eastern Amazonian Craton. *In: Symposium on magmatism, crustal evolution, and metallogenesis of the Amazonian Craton*. Belém, p. 97-150.

Dall'Agnol R. & Oliveira D.C. 2007. Oxidized, magnetite-series, rapakivi-type granites of Carajás, Brazil: implications for classification and petrogenesis of A-type granites. *Lithos*, **93**: 215-233.

Dall'Agnol R., Oliveira D.C., Lamarão C.N. 2013. Magmatismo granitoide arqueano e evolução geológica do Subdomínio de Transição da Província Carajás, sudeste do Cráton Amazônico. *Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais*, **8**(3):251-256.

Dias S.B. 2009. *Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica de granitos Arqueanos da Fola Marajoara, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, sudeste do Pará*. Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 129 p.

Ding T., Ma D., Lu J., Zhang R. 2015. Apatite in granitoids related to polymetallic mineral deposits in southeastern Hunan Province, Shi-Hang zone, China: Implications for petrogenesis and metallogenesis. *Ore Geology Reviews*, **69**:104-117.

DOCEGEO. 1988. Revisão litoestratigráfica da Província Mineral de Carajás. *In: 35º Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém, *Anais*, p. 10-59.

Duarte K.D., Perreira E.D., Dall'Agnol R., Lafon J.M. 1991. Geologia e geocronologia do granito Mara Surrão-Sudoeste de Rio Maria (PA). *In: 3º Simpósio de Geologia da Amazônia*. Belém, *Anais*, p. 7-20.

Duarte K.D. & Dall'Agnol R. 1996. Geologia e geoquímica do leucogranito arqueano potássico Mata Surrão, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Pará. *Boletim IG-USP*, **18**:113-115.

Feio G.R.L. 2011. *Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás*. Tese Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém, 187 p.

- Feio G.R.L. & Dall'Agnol R. 2012. Geochemistry and petrogenesis of the granites from the Canaã dos Carajás area, Carajás Province, Brazil: implications for the origin of Archean granites. *Lithos*, **154**:33-52.
- Feio G.R.L., Dall'Agnol R., Dantas E.L., Macambira M.J.B., Santos J.O.S., Althoff F.J., Soares J.E.B. 2013. Archean granitoid magmatism in the Canaã dos Carajás area: implications for crustal evolution of the Carajás Province, Amazonian Cráton, Brazil. *Precambrian Research*, **227**:157-185.
- Fonseca C.S. 2016. *Apatita como indicador de granitos estaníferos do sudoeste do Pará*. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 83 p.
- Friel J.J. 2003. *X-Ray and image analysis in electron microscopy*. Princeton Gamma-Tech, Inc. Second edition. 88p.
- Gabriel E.O. 2012. *Geologia, Geoquímica e Petrologia Magnética dos granitoides arqueanos da porção nordeste de Água Azul do Norte (PA) – Província Carajás*. Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 107 p.
- Gabriel E.O. & Oliveira D.C. 2014. Geologia, petrografia e geoquímica dos granitoides arqueanos de alto magnésio da região de Água Azul do Norte, porção sul do Domínio Carajás, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais*, **9**:533-564.
- Gibbs A.K., Wirth K.R., Hirata W.K., Olszewski Jr W.J. 1986. Age and composition of the Grão Pará Group volcanics, Serra dos Carajás. *Revista Brasileira de Geociências*, **16**:201-211
- Guimarães F.V. 2009. Geologia, petrografia e geoquímica do Trondhjemitó Mogno e rochas arqueanas associadas, Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria – SE do Pará. Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 102 p.
- Guimarães F.V., Dall'Agnol R., Almeida J.A.C., Oliveira M.A. 2010. Caracterização geológica, petrográfica e geoquímica do Trondhjemitó Mogno e Tonalito Mariazinha, Terreno Granito-Greenstone mesoarqueano de Rio Maria, SE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **40**(2):196-211.
- Halla J. 2005. Late Archean high-Mg granitoids (sanukitoids) in the Southern Karelian Domain, Eastern Finland. *Lithos*, **79**:161–178.

Huhn S.R.B., Santos A.B.S., Amaral A.F., Ledsham E.J., Gouveia J.L., Martins L.B.P., Montalvão R.M.G., Costa V.G. 1988. O terreno granito-greenstone da região de Rio Maria, sul do Pará. In: 35º Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, p. 1438-1453.

Kempe U. & Götze J. 2002. Cathodoluminescence (CL) behaviour and crystal chemistry of apatite from rare-metal deposit. *Mineralogical Magazine*, **66**(1):151-172.

Lafon J.M., Rodrigues E., Duarte K.D. 1994. Le granite Mata-Surrão: um magmatisme monzonitique contemporain des associations tonalitiques-trondhjemitiques – granodioritiques archéennes de la région de Rio Maria (Amazonie orientale, Brésil). *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, **318**:643-649.

Lamarão C.N., Pinho S.C.C., Junior A.L.P., Toro M.A.G. 2012. Mineralogy and geochemistry of the Paleoproterozoic, tin-mineralized Bom Jardim Granite of the Velho Guilherme Suite, eastern Amazonian Craton. *Journal of South American Earth Science*, **38**:159-173.

Leite A.A.S. & Dall'Agnol R. 1997. Geologia e petrografia do maciço granítico Arqueano Xinguara e de suas encaixantes- SE do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, **9**:43-81.

Leite A.A.S. 2001. *Geoquímica, petrogênese e evolução estrutural dos granitóides arqueanos da região de Xinguara, SE do Cráton Amazônico*. Tese Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém. 330 p.

Leite A.A.S., Dall'Agnol R., Macambira M.J.B., Althoff F.J. 2004. Geologia e Geocronologia dos granitóides arqueanos da região de Xinguara-PA e suas implicações na evolução do Terreno Granito-Greenstone de Rio Maria, Cráton Amazônico. *Revista Brasileira de Geociências*, **34**(4):447-458.

Leite-Santos P.J. 2014. *Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucograníticas e TTG arqueanos da área de Nova Canadá (PA) – Domínio Carajás*. Dissertação. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 123 p.

Leite-Santos P.J. & Oliveira D. 2016. Geologia, petrografia e geoquímica das associações leucograníticas arqueanas da área de Nova Canadá: Província Carajás. *Geologia USP*, **16**(2):37-66.

Li C.Y., Hao X.L.H., Liu J.Q., Ling M.X., Ding X., Zhang H., Sun W.D. 2017. The formation of Luoboling Cu-Mo deposit: constraints from zircon and apatite. *Lithos*, **272-273**: 291-300.

Macambira M.J.B. 1992. Chronologie U/Pb, Rb/Sr, K/Ar et croissance de la croûte continentale dans L'Amazonie du sud-est; exemple de la région de Rio Maria, Province de Carajas, Brésil. Ph.D. Thesis. Université Montpellier II, França, 212 p.

Macambira M.J.B. & Lafon J.M. 1995. Geocronologia da Província Mineral de Carajás; Síntese dos dados e novos desafios. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra*, **7**:263-287.

Macambira M.J.B. & Lancelot J. 1996. Time constraints for the formation of the Archean Rio Maria crust, southeastern Amazonian Cráton, Brazil. *International Geology Review*, **38**(12): 1134-1142.

Macambira M.J.B., Costa J.B.S., Althoff F.J., Lafon J.M., Melo J.C.V., Santos A. 2000. New geochronological data for the Rio Maria TTG terrane; implications for the time constraints of the Carajás Province, Brazil. *In: 31st International Geology Congress*. Rio de Janeiro, CD-ROM.

Macambira M.J.B., Barros C.E.M., Silva D.C.C., Santos M.C.C. 2001. Novos dados geológicos e geocronológicos para a região ao norte da Província Carajás, evidências para o estabelecimento do limite Arqueano-Paleoproterozóico no sudeste do Cráton Amazônico. *In: Simpósio de Geologia da Amazônia*. Belém, CD-ROM.

Machado N., Lindenmayer Z.G., Krogh T.E., Lindenmayer D. 1991. U/Pb geochronology of Archean magmatism and basement reactivation in the Carajás Área, Amazon Shield, Brazil. *Precambrian Research*, **49**(3):329-354.

Mao M., Rukhlov A.S., Rowins S.M., Spence J., Coogan L.A. 2016. Apatite trace element compositions: a robust new tool for mineral exploration. *Economic Geology*, **111**:1187-1222.

Martin H., Moyen J.F., Rapp R. 2009. The sanukitoid series: magmatism at the Archaean-Proterozoic transition. *Earth and Environmental Science Transactions of the Royal Society of Edinburgh*, **100**:15-33.

Medeiros H. & Dall'Agnol R. 1988. Petrologia da porção leste do batólito Granodiorítico Rio Maria, sudeste do Pará. *In: 35º Congresso Brasileiro de Geologia*. Belém, *Anais*, v.3, p.1488-1499.

Miles A.J., Graham C.M., Hawkesworth C.J., Gillespie M.R., Hinton R.W. 2013. Evidence for distinct stages of magma history recorded by the compositions of accessory apatite and zircon. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, **166**:1-19.

- Nash W.P. 1984. Phosphate minerals in terrestrial igneous and metamorphic rocks. *In: Niagu, J.O., Moore, P.B. (Eds.), Phosphate Minerals. Springer-Verlag, Berlin, 442 p.*
- Nery P.H.S., Faro P.S.P., Fonseca C.S., Marques G.T. Lamarão C.N. 2016. Assinatura geoquímica de apatitas de granitos mineralizados da província estanífera do sul do Pará e sua aplicação como mineral resistato indicador. *In: 48º Congresso Brasileiro de Geologia. Porto Alegre.*
- Neves A.P. & Vale A.G. 1999. *Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Redenção – Folha SC.22-X-A, escala 1:250.000.* Brasília, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, Brasília. CD-ROM.
- Nogueira A.C.R., Truckenbrodt W., Pinheiro R.V.L. 1995. Formação Águas Claras, Pré-Cambriano da Serra dos Carajás: redescrição e redefinição litoestratigráfica. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências da Terra, 7: 177-277.*
- Nogueira A.C.R. & Riccomini C. 2006. O Grupo Araras (Neoproterozóico) na parte norte da Faixa Paraguai e sul do Cráton Amazônico, Brasil. *Revista Brasileira de Geociências, 36:623-640.*
- Oliveira D.C., Dall’Agnol R., Barros C.E.M., Vale A.G. 2005. Geologia e petrografia do granito Paleoproterozóico Redenção, SE do Cráton Amazônico. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Zoologia, 2(1):139-156.*
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Althoff F.J., Leite A.A.S. 2009. Mesoarchean sanukitoid rocks of the Rio Maria Granite-Greenstone Terrane, Amazonian craton, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences, 27:146–160.*
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Scaillet B. 2010. Petrological constraints on crystallization conditions of Mesoarchean sanukitoid rocks, southeastern Amazonian Craton, Brazil. *Journal of Petrology, 51(10):2121-2148*
- Oliveira M.A., Dall’Agnol R., Almeida J.A.C. 2011. Petrology of the Mesoarchean Rio Maria suite and the discrimination of sanukitoid series. *Lithos, 127(1): 192-209.*
- Paiva Jr. A.L. 2009. *Geologia, petrografia, geocronologia e geoquímica do Granito anorogênico Seringa, Província Mineral de Carajás, SSE do Pará.* Dissertação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 123 p.

- Paiva Jr. A.L., Lamarão C.N., Lima P.H. 2011. Geologia, petrografia e geoquímica do batólito Seringa, Província Carajás, SSE do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **41**(2):185-202.
- Piccoli P.M. & Candela P.A. 2002. Apatite in Igneous Systems. In: Kohn M.L., Rakovan J., Hughes J.M. (eds) *Reviews in Mineralogy & Geochemistry Volume 48: Phosphates – Geochemical, Geobiological and Materials Importance*. Mineralogical Society of America and Geochemical Society, p. 255-292.
- Pimentel M.M. & Machado N. 1994. Geocronologia U-Pb dos terrenos granito-greenstone de Rio Maria, Pará. In: 38º Congresso Brasileiro de Geologia. Balneário Camboriú, p. 390-400.
- Reed S.J.B. 1996. *Electron microprobe analyses and scanning electron microscopy in geology*. Cambridge University Press, 201 p.
- Roeder P.L., MacArthur D., Xin-Pei M., Palmer G.R., Mariano A.N. 1987. Cathodoluminescence and microprobe study of rare earth elements in apatite. *American Mineralogist*. **72**:801–811.
- Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2002. Geocronologia dos granitoides arqueanos da região da Serra do Inajá, novas evidências sobre a formação da crosta continental no sudeste do Cráton Amazônico, SSE Pará. In: 41º Congresso Brasileiro de Geologia. João Pessoa, p. 525.
- Rolando A.P. & Macambira M.J.B. 2003. Archean crust formation in Inajá range área, SSE of Amazonian Craton, Brazil, basead on zircon ages and Nd isotopes. In: 4º South American Symposium on Isotope Geology. Salvador, CD-ROM.
- 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. *Gondwana Research*, **3**:453-488
- Santos P.J.L. & Oliveira D.C. 2012. Geologia, Petrografia e Geoquímica das Associações Granodioríticas-Graníticas de Nova Canadá, Subdomínio de Transição, Província Carajás. In: 46º Congresso Brasileiro de Geologia. São Paulo, CD-ROM.
- Santos M.J.P., Lamarão C.N., Lima P.H.A., Galarza M.A., Mesquita J.C.L. 2013. Granitoides arqueanos da região de Água Azul do Norte, Província Carajás, sudeste do estado do Pará: petrografia, geoquímica e geocronologia. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciências Naturais*, **8**(3):325-354.

- Santos M.N. & Oliveira D.C. 2016. Rio Maria granodiorite and associated rocks of Ourilândia do Norte – Carajás Province: Petrography, geochemistry and implications for sanukitoid petrogenesis. *Journal of South American Earth Sciences*, **72**:279-301.
- Sardinha A.S., Barros C.E.M., Krymsky R. 2006. Geology, Geochemistry, and U-Pb geochronology of the Archean (2.74 Ga) Serra do Rabo granite stocks, Carajás Province, northern Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, **20**:327-339.
- Sha L.K. & Chappell B.W. 1999 Apatite chemical composition, determined by electron microprobe and laser-ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, as a probe into granite petrogenesis. *Geochimica et Cosmochimica*, **63**:3861-3881.
- Souza Z.S. 1994. *Geologia e petrogênese do “Greenstone Belt” Identidade: implicações sobre a evolução geodinâmica do terreno granito- “greenstone” de Rio Maria, SE do Pará*. Tese de Doutorado, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Souza Z.S., Potrel A., Lafon J.M., Althoff F.J., Pimentel M.M., Dall’Agnol R., Oliveira C.G. 2001. Nd, Pb and Sr isotopes in the Identidade Belt, an Archaean greenstone belt of the Rio Maria region (Carajás Province, Brazil): implications for the Archaean geodynamic evolution of the Amazonian Craton. *Precambrian Research*, **109**:293–315.
- Stern R.A., Hanson G., Shirey S.B. 1989. Petrogenesis of mantle-derived, LILE enriched Archean monzodiorites and trachyandesites (sanukitoids) in southwestern Superior Province. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **26**:1688-1712.
- Tallarico F.H.B., Figueiredo B.R., Groves D.I., Kositcin N., Mcnaughton N.J., Fletcher I.R., Rego J.L. 2005. Geology and SHRIMP U-Pb geochronology of the Igarapé Bahia Deposit, Carajás Copper-Gold Belt, Brazil: an Archean (2.57 Ga) example of Iron-Oxide Cu-Au-(U-REE) Mineralization. *Economic Geology*, **100**(1):7-28.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999 .Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**(3):174-182.
- Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. *Evolução tectônica do Cráton Amazônico*. In: Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito Neves B.B. (eds.) *Geologia do Continente Sul Americano: Evolução da obra de F.F.M. de Almeida*. São Paulo, p. 471-486.
- Teixeira N.P., Bello R.M.S., Bettencourt J.S. 2002. Inclusões fluidas do maciço Antônio Vicente, Suíte Intrusiva Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **32**(1):135-146.

- Teixeira N.P., Bettencourt T.J.S., Dall’Agnol R., Moura C.A.V., Fernandes C.M.D., Pinho S.C.C. 2005. Geoquímica dos granitos paleoproterozoicos da Suíte Granítica Velho Guilherme, Província Estanífera do Sul do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, **35**:217-226.
- Tepper, J.H. & Kuehner, S.M. 1999. Complex zoning in apatite from the Idaho batholith: A record of magma mixing and intracrystalline trace element diffusion. *American Mineralogist*, **84**:581-595.
- Vasquez M.L., Macambira M.J.B., Galarza M.A. 2005. Granitóides transamazônicos da Região Iriti-Xingu, Pará - Novos dados geológicos e geocronológicos. In: Horbe A.M.C., Souza V.S. (Coord). *Contribuições à geologia a Amazônia*. Manaus,16-31 p.
- Vasquez M.L., Rosa-Costa L.T., Silva C.G., Ricci P.F., Barbosa J.O., Klein E.L., Lopes E.S., Macambira E.B., Chaves C.L., Carvalho J.M., Oliveira J.G., Anjos G.C., Silva H.R. 2008. Geologia e recursos minerais do estado do Pará: Sistema de Informações Geográficas – SIG: Texto explicativo dos mapas Geológico e Tectônico e de Recursos Minerais do Estado do Pará. In: Vasquez M. L.& Rosa-Costa L. T. *Escala 1:1.000.000*. (Org), CPRM, Belém, 329 p.
- Watson E.B. & Green T.H. 1981. Apatite/liquid partition coefficients for the rare earth elements and strontium. *Earth and Planetary Science Letters*, **56**:405–421.
- Whitney D.L. & Evans B.W. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, **95**:185-187.

ANEXOS

ANEXO 1

Dados de química mineral em apatita obtidos por microsonda eletrônica.

Ourilândia do Norte (MC-49)

EhbGRD

Cristal	Ap-1E	Ap-2C	Ap-2F	Ap-3A	Ap-3D	Ap-3F	Ap-3G	Ap-4C	Ap-4B	Ap-4G	Ap-7A	Ap-7B	Ap-7C	Ap-7D	Ap-7G	Ap-8C	Ap-8G	Ap-8F
Nº análises	4	4	4	5	5	5	5	4	3	5	5	4	5	5	5	4	4	4
CaO	54,9	55,1	55,3	55,4	55,6	55,4	55,4	55,3	55,5	55,5	54,9	55,6	55,4	55,5	55,4	55,5	55,6	55,3
P2O5	41,5	41,7	41,4	41,6	41,8	41,5	41,3	41,6	41,4	41,7	41,4	41,7	41,7	41,5	41,7	41,9	41,7	41,7
SiO2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,1	0,1	0,0	0,0	0,3	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	0,6	0,2	0,3	0,3	0,0	0,1	0,0	0,6
MnO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Na2O	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F % peso	2,6	2,4	2,3	2,3	2,4	2,3	2,4	2,3	2,3	2,4	2,4	2,3	2,3	2,4	2,3	2,3	2,4	2,4
Cl % peso	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
V ppm	32,3	8,5	15,3	0,0	4,1	0,0	12,2	17,0	20,4	0,0	19,0	0,0	8,2	29,9	32,6	40,8	5,1	17,0
Y ppm	1080,8	586,7	937,1	595,4	960,8	795,4	1211,0	683,2	590,6	863,1	1247,0	698,9	891,5	351,2	1121,0	986,3	533,5	1189,0
La ppm	357,1	417,0	251,8	241,1	338,5	358,4	455,8	328,2	594,5	272,5	685,3	189,9	345,1	340,2	394,7	225,0	204,4	604,8
Ce ppm	1690,5	2119,6	1357,5	1273,9	1280,7	1646,1	1796,4	1620,1	1992,2	1207,3	2324,0	992,5	1670,0	1560,7	1729,8	1056,6	1180,4	2277,5
Pr ppm	198,7	444,3	256,4	198,2	140,1	126,5	300,8	158,1	245,0	217,0	133,3	196,5	223,9	235,8	126,5	119,6	230,7	282,0
Sm ppm	269,5	304,0	442,0	43,1	303,6	151,8	260,4	122,9	293,2	296,7	67,3	122,9	220,8	96,6	291,5	81,9	114,3	332,0
Eu ppm	13,0	0,0	17,3	38,0	0,0	108,8	114,0	66,9	0,0	60,5	20,7	105,8	5,2	43,2	153,7	0,0	114,4	21,6
Gd ppm	310,2	195,2	364,4	112,8	5,2	213,4	135,3	143,2	306,6	168,3	354,0	201,7	223,8	360,9	255,1	115,0	208,2	219,1
Yb ppm	114,2	0,0	213,0	61,5	80,8	119,4	68,5	13,2	196,1	84,3	68,5	166,9	158,1	170,4	7,0	63,7	26,3	79,0
F/Cl	22,7	31,5	25,6	19,1	20,1	23,5	21,1	20,8	21,3	21,5	28,8	20,8	29,8	21,1	20,6	22,0	22,3	23,9
La/Sm	1,3	1,4	0,6	5,6	1,1	2,4	1,8	2,7	2,0	0,9	10,2	1,5	1,6	3,5	1,4	2,7	1,8	1,8
La/Yb	3,1	0,0	1,2	3,9	4,2	3,0	6,7	24,9	3,0	3,2	10,0	1,1	2,2	2,0	56,2	3,5	7,8	7,7
Gd+Yb	424,3	195,2	577,4	174,3	86,0	332,9	203,8	156,3	502,7	252,6	422,5	368,6	381,9	531,3	262,1	178,6	234,6	298,1
La+Ce+Pr+Sm	2515,8	3284,9	2307,7	1756,3	2062,9	2282,7	2813,4	2229,3	3124,9	1993,5	3209,9	1501,9	2459,8	2233,4	2542,4	1483,1	1729,7	3496,3

EhbGRD=Epidoto-hornblenda granodiorito

Ourilândia do Norte (MC-49)									Bannach(FRM-27)								
EhbGRD									EhbGRD								
Cristal	Ap-9D	Ap-9E	Ap-10A	Ap-10G	Ap-5A	Ap-5F	Ap-6F	Ap-6G	Ap-1b	Ap-1d	Ap-1f	Ap-2A	Ap-2C	Ap-2E	Ap-3C	Ap-3D	Ap-3F
Nº análises	5	5	5	5	4	4	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	3
CaO	55,0	54,9	55,2	55,3	55,5	55,2	55,4	55,3	55,0	55,0	55,2	54,9	54,4	55,1	55,4	55,1	55,5
P2O5	41,6	41,7	41,8	41,8	42,2	41,5	42,0	41,8	42,1	42,1	42,2	42,0	42,0	41,9	42,3	41,8	42,0
SiO2	0,2	0,3	0,2	0,3	0,1	0,3	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,0	0,5	0,1	0,1	0,4	0,0	0,3	0,2	0,4	0,1	0,4	0,0	0,0	0,1	0,4	0,1	0,1
MnO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Na2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F % peso	2,3	2,5	2,4	2,4	2,4	2,5	2,4	2,3	3,1	3,2	3,1	3,0	2,9	2,8	3,1	3,1	3,3
Cl % peso	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V ppm	4,1	9,5	16,3	5,4	5,1	27,2	22,7	0,0	27,2	38,5	30,6	40,8	22,7	13,6	18,1	0,0	24,9
Y ppm	949,7	894,6	830,0	285,1	389,8	968,6	1375,5	1092,7	412,1	259,9	246,1	672,0	648,4	249,4	433,1	469,9	259,9
La ppm	401,3	427,7	302,2	685,3	262,2	598,6	214,7	309,6	74,3	134,9	86,7	145,9	121,1	63,3	123,9	90,8	118,4
Ce ppm	1581,2	2096,9	1321,7	2254,0	845,3	2162,2	1127,0	1477,1	378,5	392,7	354,3	463,9	623,3	267,5	392,7	441,1	424,1
Pr ppm	114,5	282,0	266,6	352,1	96,1	260,6	122,5	153,8	168,1	102,5	21,4	99,7	102,5	82,6	139,6	68,4	99,7
Sm ppm	225,9	108,7	129,4	250,1	135,8	222,1	80,5	237,2	11,5	169,6	110,0	431,2	186,9	89,1	31,6	186,9	322,0
Eu ppm	0,0	51,8	0,0	74,3	99,3	136,0	57,6	0,0	60,5	164,1	120,9	0,0	20,2	54,7	115,1	8,6	0,0
Gd ppm	307,1	477,2	229,0	65,9	125,8	262,4	37,6	201,7	66,5	118,6	186,5	57,8	199,5	242,9	257,4	179,3	156,2
Yb ppm	122,9	29,9	152,8	65,0	122,9	70,3	140,5	160,3	23,4	105,4	151,5	14,6	79,0	149,3	11,7	58,5	140,5
F/Cl	28,0	29,0	24,5	26,8	20,1	25,2	21,6	22,4	208,8	239,5	204,1	157,8	157,0	181,5	192,6	192,8	265,6
La/Sm	1,8	3,9	2,3	2,7	1,9	2,7	2,7	1,3	6,5	0,8	0,8	0,3	0,6	0,7	3,9	0,5	0,4
La/Yb	3,3	14,3	2,0	10,5	2,1	8,5	1,5	1,9	3,2	1,3	0,6	10,0	1,5	0,4	10,6	1,6	0,8
Gd+Yb	430,1	507,0	381,9	130,9	248,8	332,7	178,1	362,0	89,9	224,0	338,0	72,5	278,6	392,2	269,1	237,9	296,7
La+Ce+Pr+Sm	2323,0	2915,3	2019,9	3541,5	1339,4	3243,6	1544,7	2177,7	632,4	799,8	572,3	1140,7	1033,8	502,5	687,8	787,2	964,1

EhbGRD=Epidoto-hornblenda granodiorito

Bannach(FRM-27)

EhbGRD

Cristal	Ap-4B	Ap-4D	Ap-4E	Ap-5A	Ap-5E	Ap-5F	Ap-6B	Ap-6D	Ap-6F	Ap-7B	Ap-7D	Ap-7E	Ap-7F	Ap-8D	Ap-8E	Ap-9A	Ap-9C	Ap-9D
Nº análises	2	3	3	4	3	3	3	5	4	3	4	3	3	3	3	4	5	4
CaO	55,3	55,4	55,3	55,3	54,8	55,3	55,4	55,0	55,4	55,2	55,2	55,5	55,4	55,2	55,4	55,4	55,5	55,4
P2O5	41,7	42,1	41,8	42,3	42,0	42,0	42,2	42,3	42,2	42,2	42,3	42,2	42,0	42,2	42,2	41,9	42,0	41,2
SiO2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,0	0,6	0,2	0,1	0,1	0,4	0,1	0,4	0,0	0,0	0,2	0,5	0,3	0,0	0,0	0,0	1,0	0,3
MnO	0,2	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Na2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F % peso	3,1	3,2	2,9	3,2	2,9	3,1	3,2	3,8	3,1	3,0	3,7	3,1	3,0	3,9	3,1	3,2	3,2	3,2
Cl % peso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V ppm	10,2	9,1	34,0	25,5	29,5	0,0	20,4	9,5	15,3	9,1	24,5	6,8	11,3	13,6	56,7	5,1	5,4	25,5
Y ppm	322,9	210,0	488,3	504,0	538,1	162,8	233,6	374,9	446,9	364,9	228,4	0,0	354,4	320,3	745,5	179,2	36,2	133,9
La ppm	148,6	118,4	112,8	61,9	71,6	79,8	129,4	115,6	103,2	30,3	140,4	167,9	192,7	68,8	49,5	55,7	173,4	70,2
Ce ppm	490,9	435,4	387,1	418,4	555,0	526,5	463,9	305,7	516,5	469,6	437,1	463,9	481,0	424,1	452,5	518,7	336,4	386,3
Pr ppm	25,6	0,0	19,9	134,6	59,8	139,6	207,9	121,3	220,0	122,5	22,2	94,0	45,6	176,6	51,3	115,4	160,6	81,2
Sm ppm	0,0	11,5	57,5	125,0	100,6	379,5	71,9	212,2	6,5	120,7	72,4	123,6	255,8	71,9	161,0	142,3	138,0	64,7
Eu ppm	0,0	0,0	14,4	0,0	146,8	0,0	20,2	50,1	0,0	25,9	41,5	0,0	43,2	0,0	97,9	28,1	57,0	92,8
Gd ppm	0,0	11,6	228,5	247,3	31,8	216,9	537,9	142,3	58,6	156,2	189,1	352,8	0,0	280,5	135,9	251,6	67,7	188,7
Yb ppm	0,0	117,1	73,2	24,2	70,3	23,4	0,0	72,0	17,6	0,0	107,1	73,2	20,5	190,3	169,8	17,6	56,2	118,6
F/Cl	172,3	180,9	163,3	262,8	69,5	183,0	227,9	234,7	205,6	162,9	269,4	152,4	185,3	247,8	281,8	244,4	311,9	191,0
La/Sm		10,3	2,0	0,5	0,7	0,2	1,8	0,5	16,0	0,3	1,9	1,4	0,8	1,0	0,3	0,4	1,3	1,1
La/Yb		1,0	1,5	2,6	1,0	3,4		1,6	5,9		1,3	2,3	9,4	0,4	0,3	3,2	3,1	0,6
Gd+Yb	0,0	128,7	301,7	271,4	102,1	240,3	537,9	214,3	76,1	156,2	296,3	426,0	20,5	470,8	305,7	269,2	123,9	307,3
La+Ce+Pr+Sm	665,2	565,3	577,3	739,9	787,0	1125,4	873,1	754,7	846,3	743,1	672,2	849,4	975,1	741,3	714,3	832,1	808,4	602,4

EhbGRD=Epidoto-hornblenda granodiorito

Bannach (FRM-27)				Bannach (FRM-100)													
EHbGRD				EHbGRD													
Cristal	Ap-10A	Ap-10B	Ap-10F	Ap-1	Ap-2	Ap-3	Ap-4	Ap-7	Ap-8	Ap-9	Ap-10	Ap-11	Ap-12	Ap-13	Ap-14	Ap-15	Ap-16
Nº análises	3	3	4	4	4	4	4	5	4	4	5	4	4	5	5	4	5
CaO	55,6	55,5	55,2	55,2	56,6	55,3	56,9	56,1	56,4	55,9	56,8	56,6	56,4	55,7	56,0	55,3	56,7
P2O5	42,1	41,8	41,9	42,1	42,3	42,1	42,6	41,9	40,9	40,8	42,7	40,4	42,9	42,5	42,3	42,0	41,5
SiO2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,2	0,1
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,0	0,5	0,5	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,2	0,1	0,2	0,4
MnO	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
Na2O	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F % peso	2,9	3,1	2,7	3,5	2,3	3,2	2,5	4,0	2,3	3,8	2,6	3,4	3,1	3,3	3,3	3,0	2,9
Cl % peso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V ppm	6,8	22,7	3,4	15,3	5,1	1,7	13,6	4,1	0,0	8,5	10,9	23,8	5,1	28,6	5,4	0,0	32,6
Y ppm	475,1	451,5	976,5	821,0	468,6	604,4	167,3	510,3	149,6	565,0	422,1	525,7	173,3	480,4	535,5	722,5	433,1
La ppm	132,1	162,4	111,5	39,2	125,9	95,0	28,9	64,4	123,9	192,0	71,0	119,7	125,9	47,9	59,5	66,1	82,6
Ce ppm	532,2	483,8	441,8	290,3	520,8	367,1	339,4	259,6	236,9	488,8	252,7	362,9	219,9	382,5	274,9	414,1	450,8
Pr ppm	74,1	5,7	29,9	279,8	34,2	113,2	0,0	0,0	89,7	217,9	87,2	21,4	168,8	148,7	131,6	220,0	82,0
Sm ppm	146,6	152,4	0,0	228,5	237,2	71,1	21,6	257,0	36,7	163,9	191,5	90,6	0,0	148,3	279,4	34,5	79,3
Eu ppm	0,0	72,0	81,9	2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	194,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	77,7
Gd ppm	323,9	34,7	25,9	208,2	436,0	186,5	115,0	194,3	128,0	288,5	123,2	47,7	245,1	277,6	33,0	418,6	105,8
Yb ppm	0,0	67,3	120,8	219,6	175,6	90,0	0,0	36,9	26,3	76,8	63,2	54,9	22,0	59,7	47,4	76,8	56,2
F/Cl	191,8	182,8	156,8	81,7	48,2	111,6	70,3	91,7	71,9	152,8	57,1	111,7	181,9	98,4	227,7	75,7	60,4
La/Sm	0,9	1,1		0,2	0,5	1,3	1,3	0,3	3,4	1,2	0,4	1,3		0,3	0,2	1,9	1,0
La/Yb		2,4	0,9	0,2	0,7	1,1		1,7	4,7	2,5	1,1	2,2	5,7	0,8	1,3	0,9	1,5
Gd+Yb	323,9	102,0	146,7	427,8	611,6	276,5	115,0	231,2	154,3	365,3	186,4	102,6	267,1	337,3	80,4	495,5	162,1
La+Ce+Pr+Sm	885,0	804,3	583,2	837,9	918,1	646,5	389,8	581,0	487,2	1062,5	602,3	594,5	514,5	727,4	745,4	734,7	694,7

EHbGRD=Epidoto-hornblenda granodiorito

Cristal	Bannach (FRM-100)												Bannach (ADR-4B)					
	EHbGRD												EBAQD					
	Ap-17	Ap-18	Ap-20	Ap-21	Ap-22	Ap-23	Ap-24	Ap-25	Ap-26	Ap-27	Ap-28	Ap-30	Ap-1	Ap-2	Ap-3	Ap-4	Ap-5	Ap-6
Nº análises	6	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	6	8	6	6	8
CaO	56,8	55,9	56,9	56,8	56,7	56,5	55,8	56,4	56,8	56,2	56,4	56,9	54,5	54,8	55,2	55,4	54,9	55,1
P2O5	41,9	41,6	41,9	42,2	42,2	42,4	41,5	42,1	42,1	42,1	42,2	42,2	41,7	41,7	41,7	41,8	42,1	41,7
SiO2	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,2	0,2	0,2
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,3	0,3	0,0	0,3	0,4	0,0	0,2	0,1	0,0	0,2	0,2	0,2	0,1
MnO	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Na2O	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0
F % peso	2,6	3,9	2,4	2,7	3,3	2,5	3,2	2,9	2,8	2,9	2,8	2,8	1,8	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2
Cl % peso	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
V ppm	3,4	22,7	1,7	0,0	39,1	8,2	12,8	10,2	15,3	0,0	5,1	57,8	6,8	3,4	26,3	43,1	48,7	33,1
Y ppm	623,4	102,4	374,1	456,8	429,2	373,3	621,3	90,6	246,1	535,5	250,0	441,0	532,9	212,6	394,7	195,6	166,7	213,6
La ppm	88,1	156,9	130,0	128,0	78,4	132,1	91,7	95,0	47,5	165,1	146,6	66,1	498,2	608,3	308,6	272,5	450,0	486,1
Ce ppm	425,5	315,9	439,7	490,9	294,6	474,7	567,3	136,6	185,7	260,4	313,8	397,0	1568,1	1812,9	860,2	896,5	1391,7	1424,8
Pr ppm	84,0	99,7	207,2	89,7	104,7	49,6	157,6	89,7	91,9	108,9	79,0	333,3	193,7	220,7	62,0	128,2	351,8	143,1
Sm ppm	125,0	115,0	168,2	56,1	71,1	231,1	56,5	112,1	92,7	176,8	198,4	112,1	218,5	194,0	147,7	80,5	90,6	181,1
Eu ppm	37,4	0,0	0,0	190,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,8	0,0	0,0	0,0	0,0	11,9	0,0	0,0	0,0
Gd ppm	196,7	190,9	253,8	219,1	164,8	343,6	181,2	78,1	67,2	344,9	240,8	164,8	185,1	261,7	176,8	206,8	125,8	250,5
Yb ppm	90,7	43,9	52,7	162,5	149,3	40,4	83,9	133,9	61,5	28,5	79,0	171,2	166,9	99,5	132,8	29,3	24,9	91,1
F/Cl	47,2	136,1	50,2	78,8	93,7	53,1	58,2	98,6	140,8	65,4	66,9	140,8	15,7	33,5	30,7	34,9	32,4	27,4
La/Sm	0,7	1,4	0,8	2,3	1,1	0,6	1,6	0,8	0,5	0,9	0,7	0,6	2,3	3,1	2,1	3,4	5,0	2,7
La/Yb	1,0	3,6	2,5	0,8	0,5	3,3	1,1	0,7	0,8	5,8	1,9	0,4	3,0	6,1	2,3	9,3	18,1	5,3
Gd+Yb	287,4	234,8	306,5	381,5	314,1	384,0	265,1	212,0	128,7	373,4	319,8	336,1	351,9	361,3	309,6	236,1	150,7	341,6
La+Ce+Pr+Sm	722,6	687,5	945,1	764,7	548,8	887,5	873,2	433,4	417,7	711,3	737,7	908,4	2478,5	2836,0	1378,4	1377,6	2284,0	2235,1

EHbGRD=Epidoto-hornblenda granodiorito, EBAQD=Epidoto-biotita-anfibólio-quartzito

	Bannach (ADR-4B)										Leucogranodiorito Alto Ba-Sr (PDE-106)						
	EBAQD										EHbGRD						
	Cristal	Ap-8	Ap-9	Ap-10	Ap-11	Ap-12	Ap-13	Ap-14	Ap-15	Ap-16	Ap-17	Ap-18	Ap-19	Ap-20	AP-1C	AP-1D	AP-2A
Nº análises	12	12	9	9	13	3	9	5	3	4	5	5	5	3	3	5	5
CaO	54,8	55,2	55,3	55,4	55,1	55,3	55,4	55,3	55,1	55,6	55,6	55,3	55,6	55,4	55,4	55,2	55,3
P2O5	42,4	42,1	41,7	42,0	42,0	42,0	42,1	42,1	42,1	42,5	42,1	42,3	41,9	41,6	41,6	41,8	41,6
SiO2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,2	0,3	0,1	0,1	0,2	0,0	0,3	0,1	0,0	0,0	0,2	0,0	0,3	0,4	0,0	0,2	0,2
MnO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
SrO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Na2O	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F % peso	2,1	2,1	2,2	2,2	2,2	2,2	2,4	2,4	2,5	2,7	2,1	1,9	2,2	3,3	3,5	3,4	3,3
Cl % peso	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
V ppm	22,1	14,7	16,6	40,8	8,9	38,5	25,7	35,7	38,5	37,4	23,1	2,3	39,4	0,0	0,0	2,7	16,3
Y ppm	248,1	377,3	418,3	602,9	402,2	286,1	200,4	177,2	0,0	271,7	223,7	559,1	256,7	152,3	0,0	527,6	305,6
La ppm	287,6	280,0	215,6	146,8	515,1	187,2	167,9	462,4	5,5	0,0	454,1	445,9	404,6	88,1	123,9	110,6	176,7
Ce ppm	1390,3	976,9	789,3	472,4	1523,0	1127,0	733,3	1225,2	956,3	636,1	1162,9	990,4	1178,2	304,5	404,1	416,7	384,2
Pr ppm	1192,0	83,3	105,4	132,0	120,9	236,4	1491,6	0,0	142,4	1499,6	311,0	0,0	179,4	0,0	19,9	276,9	23,9
Sm ppm	95,6	144,5	220,4	208,9	77,6	204,1	184,0	174,6	0,0	0,0	205,3	0,0	184,6	0,0	43,1	36,2	132,8
Eu ppm	0,7	0,0	14,4	0,0	19,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	63,9	0,0
Gd ppm	107,0	138,8	75,2	185,1	125,5	352,8	295,9	58,6	101,2	698,4	97,2	72,3	92,0	83,9	497,4	196,1	213,4
Yb ppm	85,6	41,0	33,2	84,9	60,8	2,9	67,3	254,7	102,5	0,0	26,3	41,0	54,4	96,6	52,7	45,7	114,2
F/Cl	32,7	28,3	30,7	48,1	19,8	26,9	36,4	37,3	36,9	37,3	36,9	33,2	35,0	156,4	262,2	202,2	114,9
La/Sm	3,0	1,9	1,0	0,7	6,6	0,9	0,9	2,6			2,2		2,2		2,9	3,1	1,3
La/Yb	3,4	6,8	6,5	1,7	8,5	63,9	2,5	1,8	0,1	#DIV/0!	17,2	10,9	7,4	0,9	2,4	2,4	1,5
Gd+Yb	192,6	179,8	108,4	270,0	186,3	355,8	363,3	313,2	203,7	698,4	123,5	113,3	146,4	180,5	550,1	241,7	327,6
La+Ce+Pr+Sm	2965,5	1484,7	1330,7	960,1	2236,7	1754,7	2576,8	1862,2	1104,2	2135,7	2133,3	1436,3	1946,8	392,6	591,0	840,4	717,7

EHbGRD=Epidoto-hornblenda granodiorito, EBAQD=Epidoto-biotita-anfibólio-quartzo diorito

Leucogranodiorito Alto Ba-Sr (PDE-106)

EhbGRD

Cristal	AP-2B	AP-2C	AP-3A	AP-3B	AP-3C	AP-3F	AP-4D	AP-5C	AP-6A	AP-6B	AP-7A	AP-8D	AP-9D
Nº análises	5	5	3	5	3	3	4	2	3	3	3	3	4
CaO	55,3	55,4	55,5	55,5	55,6	55,5	55,6	55,6	55,5	55,5	55,5	55,5	55,6
P2O5	41,6	41,1	41,6	41,6	41,7	41,7	41,6	41,3	41,4	41,7	41,7	41,6	41,8
SiO2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,2	0,2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,3	0,3	0,3	0,5	0,2	0,2	0,6
MnO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,2	0,2	0,2	0,0
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Na2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F % peso	3,3	3,2	3,4	3,3	3,4	3,3	3,3	3,5	3,3	3,5	3,3	3,3	3,4
Cl % peso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V ppm	16,3	9,5	9,1	24,5	13,6	11,3	20,4	54,4	36,3	4,5	13,6	40,8	54,4
Y ppm	305,6	373,3	338,6	155,9	254,6	107,6	192,9	126,0	404,3	57,8	367,5	139,1	450,8
La ppm	176,7	94,1	88,1	74,3	79,8	0,0	109,4	28,9	115,6	74,3	71,6	99,1	144,5
Ce ppm	384,2	213,5	315,9	467,9	105,3	293,1	548,6	264,7	122,4	236,2	253,3	389,9	125,9
Pr ppm	23,9	20,5	85,5	85,5	71,2	28,5	126,0	111,1	307,6	57,0	28,5	370,3	79,0
Sm ppm	132,8	158,7	195,5	157,0	60,4	117,9	66,8	60,4	89,1	138,0	77,6	120,7	170,3
Eu ppm	0,0	126,1	0,0	48,4	0,0	357,0	32,4	73,4	2,9	54,7	0,0	8,6	166,2
Gd ppm	213,4	86,8	260,3	31,2	205,3	112,8	36,9	147,5	54,9	173,5	240,0	167,7	128,0
Yb ppm	114,2	33,4	32,2	38,6	61,5	237,1	85,6	87,8	0,0	131,7	23,4	26,3	87,8
F/Cl	114,9	162,6	163,6	251,8	252,3	244,1	210,6	207,3	239,0	226,7	187,6	86,0	331,6
La/Sm	1,3	0,6	0,5	0,5	1,3	0,0	1,6	0,5	1,3	0,5	0,9	0,8	0,8
La/Yb	1,5	2,8	2,7	1,9	1,3	0,0	1,3	0,3		0,6	3,1	3,8	1,6
Gd+Yb	327,6	120,1	292,5	69,9	266,8	349,9	122,5	235,3	54,9	305,3	263,5	194,1	215,8
La+Ce+Pr+Sm	717,7	486,8	684,9	784,6	316,7	439,5	850,8	465,0	634,7	505,5	431,0	980,0	519,8

EhbGRD=Epidoto-hornblenda granodiorito

Trondhjemito Mogno (MASF-28)

EBTrd

Cristal	Ap-1B	Ap-1C	Ap-1F	Ap-2A	Ap-2C	Ap-2E	Ap-3A	Ap-3B	Ap-3F	Ap-4A	Ap-4C	Ap-4E	Ap-5C	Ap-6A	Ap-6E	Ap-7C	Ap-7D	Ap-7E
Nº análises	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3
CaO	55,0	54,7	55,1	54,7	54,9	55,1	54,9	54,7	54,8	54,8	55,0	54,6	54,9	55,1	55,1	54,5	54,8	54,8
P2O5	40,8	41,5	41,3	41,2	41,4	41,2	41,6	41,5	41,5	41,2	41,2	41,9	41,5	41,3	41,7	41,4	41,3	41,4
SiO2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,0	0,0	0,2	0,5	0,3	0,0	0,4	0,2	0,1	0,4
MnO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Na2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,1
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F % peso	3,6	3,5	3,4	3,3	2,9	3,6	3,3	3,6	3,7	3,3	3,7	3,3	3,5	3,4	3,6	3,6	3,5	3,5
Cl % peso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V ppm	9,1	18,1	13,6	27,2	6,8	18,1	31,7	2,3	0,0	27,2	13,6	0,0	9,1	6,8	9,1	0,0	6,8	36,3
Y ppm	509,3	493,5	564,4	1071,0	610,3	732,4	504,0	1099,9	672,0	929,3	430,5	1543,5	183,8	781,6	882,0	367,5	811,1	493,5
La ppm	115,6	104,6	77,1	140,4	33,0	22,0	60,6	118,4		176,2	74,3	52,3	88,1	90,8	55,1	134,9	117,7	104,6
Ce ppm	347,2	344,4	540,7	687,3	569,9	378,5	429,8	409,8	222,0	637,5	287,5	537,9	458,2	333,0	227,7	364,3	542,2	543,6
Pr ppm	39,9	42,7	51,3		147,4	148,1	156,7	94,0	96,8	82,6	68,4	179,5	48,4	57,7	2,9	42,7	70,5	19,9
Sm ppm	112,1	126,5		200,5	185,4	126,5	178,2	175,4	204,1	57,5	25,9	51,7	232,9	157,4	123,6	20,1	12,9	123,6
Eu ppm	2,9	0,0	80,6	56,1	51,8	77,7	0,0	17,3	86,4	0,0	0,0	0,0	172,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gd ppm	578,4	83,9	130,1	95,4	251,6	416,5	153,3		69,4	202,4	11,6	271,9	283,4	203,9	14,5	384,6	184,4	150,4
Yb ppm	149,3	93,7	79,0	79,0	120,8	181,5	193,2	35,1	146,4	11,7	210,8	20,5	90,8	120,8	108,3	111,2	164,7	70,3
F/Cl	626,7	1158,6	593,5	409,8	551,2	2733,0	1220,0	667,3	1015,1	662,5	427,4	766,5	475,0	712,5	388,5	1190,8	422,0	704,1
La/Sm	1,0	0,8		0,7	0,2	0,2	0,3	0,7	0,0	3,1	2,9	1,0	0,4	0,6	0,4	6,7	9,1	0,8
La/Yb	0,8	1,1	1,0	1,8	0,3	0,1	0,3	3,4	0,0	15,0	0,4	2,6	1,0	0,8	0,5	1,2	0,7	1,5
Gd+Yb	727,7	177,5	209,2	174,5	372,4	597,9	346,5	35,1	215,8	214,2	222,3	292,3	374,2	324,6	122,8	495,9	349,0	220,6
La+Ce+Pr+Sm	614,8	618,2	669,1	1028,2	935,8	675,1	825,2	797,5	522,9	953,7	456,0	821,4	827,6	638,9	409,2	562,0	743,3	791,7

EBTrd=Epidoto-biotita trondhjemito

Trondhjemito Mogno (MASF-28)									
EBTrd									
Cristal	Ap-8B	Ap-8D	Ap-8F	Ap-9A	Ap-9E	Ap-10A	Ap-10C	Ap-10E	Ap-10F
Nº análises	3	4	4	5	4	3	4	4	4
CaO	54,7	54,3	55,0	54,5	55,2	54,9	55,4	55,4	55,9
P2O5	41,4	41,2	41,2	41,2	41,1	41,3	41,8	41,9	41,8
SiO2	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,1
MnO	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Na2O	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F % peso	3,5	3,5	3,1	3,7	3,2	3,7	3,7	3,6	3,2
Cl % peso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V ppm	20,4	10,2	8,5	10,9	8,5	8,2	45,9	30,6	0,0
Y ppm	493,5	297,3		984,4	417,4	793,8	283,5	185,1	151,6
La ppm		39,2	90,8	66,1	183,7	102,4	70,2	59,9	43,4
Ce ppm	219,1	352,2	292,4	568,6	333,0	304,0	254,0	194,2	309,5
Pr ppm	139,6	8,6		71,8	382,4	153,8	57,7	222,2	170,9
Sm ppm	155,2	92,7	153,1	374,3	125,1	10,4	110,0	28,0	56,1
Eu ppm	0,0	60,5	79,9	36,3	4,3	0,0	198,6	47,5	58,3
Gd ppm	118,6	97,6	58,6	286,3	121,5	105,9	310,2	312,3	203,9
Yb ppm	70,3	74,7	98,8	35,1	54,9	84,3	43,9	94,4	8,8
F/Cl	797,2	864,3	891,4	589,0	969,9	796,4	865,8	2841,8	1822,1
La/Sm	0,0	0,4	0,6	0,2	1,5	9,9	0,6	2,1	0,8
La/Yb	0,0	0,5	0,9	1,9	3,3	1,2	1,6	0,6	4,9
Gd+Yb	188,8	172,3	157,4	321,4	176,4	190,2	354,1	406,8	212,7
La+Ce+Pr+Sm	513,9	492,7	536,3	1080,8	1024,1	570,5	491,8	504,3	579,8

EBTrd=Epidoto-biotita trondhjemito

Granito Seringa (MC-59)

BAMZG

Cristal	Ap1	Ap2	Ap4	Ap5	Ap6	Ap7	Ap9	Ap10	Ap11	Ap12	Ap13	Ap14	Ap15	Ap16	Ap17	Ap18	Ap19	Ap20
Nº análises	2	4	2	3	2	2	4	4	4	7	3	7	3	4	3	4	4	4
CaO	54,8	54,6	55,1	54,5	56,1	55,0	54,5	54,9	55,0	54,8	55,5	54,1	55,8	54,1	55,7	55,5	55,5	55,2
P2O5	40,5	40,7	41,2	41,3	41,2	39,8	40,8	41,5	41,4	40,9	41,1	40,8	41,2	41,1	40,4	41,3	40,8	40,6
SiO2	0,6	0,7	0,5	0,4	0,6	0,8	0,6	0,4	0,3	0,4	0,5	0,5	0,4	0,4	0,4	0,5	0,5	0,8
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,1	0,6	0,0	0,7	0,1	0,5	0,4	0,2	0,4	0,6	0,5	0,5	0,1	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3
MnO	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Na2O	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3	0,1	0,1	0,1	0,1
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F % peso	3,5	3,7	3,9	3,6	2,5	3,4	3,8	4,5	4,3	3,7	3,0	4,2	2,9	3,6	3,0	3,0	3,0	3,7
Cl % peso	0,0	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
V ppm	0,0	34,0	2,0	11,9	3,0	0,7	0,0	15,0	27,2	0,8	31,7	0,0	9,1	5,4	8,2	0,0	0,0	0,0
Y ppm	637,9	2364,5	1511,6	1868,3	2124,8	2687,0	1578,9	1378,1	1718,7	1454,9	580,1	1953,0	1099,9	1782,9	2190,8	2057,3	1372,2	1996,3
La ppm	1544,1	3098,4	2480,8	2111,7	3211,5	3550,4	3090,2	1920,6	1899,1	2154,0	2336,7	2365,0	2105,5	2340,0	2734,7	2120,0	2047,7	2795,0
Ce ppm	3795,1	7193,3	5235,9	4866,7	6636,2	7900,3	6612,7	4369,7	4049,1	4669,2	4986,2	5722,9	4781,3	5445,5	6101,3	5154,8	5176,2	6373,6
Pr ppm	410,2	741,3	573,4	455,0	671,3	813,0	632,3	461,4	399,5	420,8	108,2	645,8	561,1	818,6	574,2	514,8	416,6	504,2
Sm ppm		590,7	400,2	131,5	418,8	464,8	336,3	103,5	442,0	166,0	135,1	352,4	232,8	357,0	224,2	360,1	493,7	191,9
Eu ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gd ppm	451,2	455,5	557,0	407,8	329,7	253,8	342,7	354,0	288,5	440,3	303,7	573,9	445,4	265,5	449,4	364,4	290,6	388,3
Yb ppm	30,7	133,9	89,6	107,6	92,8	102,2	85,6	24,6	19,8	45,0	152,2	90,3	140,5	42,2	205,5	92,2	103,2	215,2
F/Cl	107,4	85,9	63,9	37,5	65,9	28,7	42,9	81,3	80,0	83,8	69,7	39,6	32,1	40,1	56,2	85,7	60,1	108,3
La/Sm		5,2	6,2	16,1	7,7	7,6	9,2	18,6	4,3	13,0	17,3	6,7	9,0	6,6	12,2	5,9	4,1	14,6
La/Yb	50,2	23,1	27,7	19,6	34,6	34,7	36,1	78,1	96,1	47,9	15,4	26,2	15,0	55,5	13,3	23,0	19,8	13,0
Gd+Yb	481,9	589,4	646,6	515,4	422,4	356,0	428,3	378,6	308,2	485,3	455,9	664,2	585,9	307,6	654,9	456,6	393,8	603,4
La+Ce+Pr+Sm	5749,4	11623,7	8690,3	7564,9	10937,7	12728,4	10671,5	6855,2	6789,7	7410,1	7566,3	9086,1	7680,8	8961,2	9634,4	8149,7	8134,2	9864,7

BAMZG=Biotita-anfibólio monzogranito

Granito Seringa (MC-107)

ABMZG

Cristal	Ap21	Ap22	Ap23	Ap24	Ap1	Ap3	Ap4	Ap5	Ap6	Ap7	Ap8	Ap9	Ap11	Ap12	Ap13	Ap14	Ap15	Ap16
Nº análises	5	3	5	3	5	8	4	4	6	6	9	7	7	5	9	16	10	10
CaO	54,4	53,9	54,8	54,4	54,3	54,5	54,5	54,5	54,5	53,9	54,2	54,1	54,2	54,4	53,2	53,7	53,8	53,4
P2O5	40,6	40,2	40,6	41,1	41,5	41,4	41,5	41,2	40,8	41,4	41,4	41,1	41,2	41,1	41,4	41,0	40,3	40,5
SiO2	0,6	0,7	0,6	0,3	0,4	0,4	0,5	0,4	0,6	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,4	0,8	0,9	0,9
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,4	0,5	0,3	0,7	0,2	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,6	0,5	0,3	0,4	0,2	0,2	0,4	0,0
MnO	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Na2O	0,2	0,2	0,1	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0	0,1	0,0	0,1	0,1	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1
K2O	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F % peso	3,8	4,2	3,6	3,5	3,4	4,0	4,4	4,3	3,4	3,5	3,1	3,4	3,2	3,1	4,1	4,5	3,4	3,5
Cl % peso	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,0	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
V ppm	0,0	0,0	1,4	0,0	2,7	28,9	3,4	37,4	0,0	3,4	5,3	24,3	17,5	5,4	0,0	13,2	0,0	0,0
Y ppm	2477,5	2420,3	2474,3	1315,1	1592,3	1692,1	1834,9	1829,0	2300,8	1727,3	2125,4	2165,6	1480,5	2327,9	1528,6	2903,4	2836,6	3278,4
La ppm	2510,1	3074,4	2346,6	2191,4	2087,4	1869,2	1994,1	1488,3	2173,0	2035,4	2030,3	2697,7	2087,8	1918,9	2134,0	3282,2	3294,5	3543,1
Ce ppm	6248,1	6813,3	5612,9	4771,0	4719,8	4542,2	4875,2	4243,4	5168,3	5114,3	5148,4	6360,8	5049,6	5022,1	5301,1	7926,5	7911,3	8376,6
Pr ppm	553,7	501,3	451,2	523,0	422,1	479,6	472,1	531,9	393,1	498,5	526,9	556,6	371,1	512,7	539,3	756,8	950,2	791,3
Sm ppm	436,4	276,0	339,8	231,1	255,3	314,8	269,5	448,4	283,2	207,0	224,2	325,2	372,1	215,6	332,5	612,8	442,4	721,0
Eu ppm	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Gd ppm	537,9	300,8	551,8	419,9	171,8	165,9	405,6	284,1	377,4	284,9	403,9	519,3	466,0	364,4	183,2	593,8	759,2	549,2
Yb ppm	73,8	149,3	98,4	145,8	274,0	88,9	155,9	79,0	142,0	61,5	185,4	111,7	25,1	93,1	165,9	127,3	64,1	101,0
F/Cl	50,2	53,0	57,9	83,5	138,6	18,6	17,7	19,6	14,7	78,3	18,4	22,1	49,7	18,4	21,3	28,9	27,7	28,7
La/Sm	5,8	11,1	6,9	9,5	8,2	5,9	7,4	3,3	7,7	9,8	9,1	8,3	5,6	8,9	6,4	5,4	7,4	4,9
La/Yb	34,0	20,6	23,9	15,0	7,6	21,0	12,8	18,8	15,3	33,1	11,0	24,2	83,2	20,6	12,9	25,8	51,4	35,1
Gd+Yb	611,7	450,1	650,2	565,7	445,8	254,8	561,5	363,2	519,4	346,3	589,3	631,0	491,1	457,5	349,0	721,1	823,3	650,2
La+Ce+Pr+Sm	9748,3	10665,0	8750,5	7716,5	7484,6	7205,8	7610,9	6712,1	8017,5	7855,0	7929,9	9940,4	7880,6	7669,3	8306,9	12578,2	12598,5	13431,9

BAMZG=Biotita-anfibólio monzogranito

Granito Antônio Vicente (SLA-06-DT)

BSG

Cristal	Ap-3	Ap-3A	Ap-3B	Ap-3C	Ap-2	Ap-2A	Ap-2B	Ap-2C	Ap-2D	Ap-4	Ap-4A	Ap-4B	Ap-4C	Ap-4D	Ap-4E	Ap-4F	Ap-5	Ap-5A
Nº análises	3	3	3	3	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	4	4	5	5
CaO	52,8	50,3	50,4	52,7	53,4	50,3	50,7	53,4	54,7	54,1	52,7	49,4	49,4	49,9	49,1	49,7	53,7	53,1
P2O5	40,4	37,3	37,7	40,7	41,0	37,9	35,2	40,7	40,9	40,7	40,4	37,5	37,5	37,4	36,9	37,4	41,0	40,3
SiO2	0,8	2,1	1,9	0,5	0,7	2,0	3,3	0,5	0,4	0,4	0,4	2,0	2,1	1,9	2,0	1,8	0,6	0,8
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,5	0,6	0,6	0,3	0,5	0,6	1,5	0,4	0,3	0,3	0,4	0,6	0,6	0,9	0,9	0,9	0,5	0,5
MnO	0,3	0,3	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO																		
Na2O	0,3	0,4	0,5	0,3	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4
K2O	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
TiO2																		
F % peso	4,5	4,0	3,9	4,4	2,6	3,6	6,3	3,4	3,9	3,8	3,4	4,2	3,1	3,6	3,5	3,4	3,0	3,6
Cl % peso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V ppm																		
Y ppm	12907,1	18041,6	17734,5	6985,1	12592,1	18931,5	9229,5	8182,1	8205,8	6953,6	7985,3	17262,0	17852,6	15923,3	16411,5	15238,1	10804,5	7969,5
La ppm	1748,0	4868,9	4783,6	2370,5	1799,2	4391,4	2762,7	1560,4	912,4	1705,4	2404,6	5849,5	5423,2	4229,4	5099,1	4638,7	1330,2	2592,2
Ce ppm	4747,1	15120,8	15419,6	5114,3	4883,7	14625,6	4055,6	4593,4	4491,0	5046,0	6634,0	16316,1	16222,2	13788,9	14950,0	14335,3	4294,6	6599,9
F/Cl	320,2	247,1	176,7	294,1	257,9	190,5	483,4	199,6	561,0	221,5	187,3	324,5	204,3	297,9	251,4	211,5	233,4	214,6

BSG=Biotita sienogranito

Granito Antônio Vicente (SLA-06-DT)**BSG**

Cristal	Ap-5B	Ap-5C	Ap-5D	Ap-5E	Ap-5F	Ap-5G	Ap-5H	Ap-5I
Nº análises	5	5	5	5	5	5	5	5
CaO	53,4	52,1	51,7	52,7	52,8	52,6	53,3	52,9
P2O5	40,2	39,1	39,3	39,4	39,0	39,6	40,3	40,0
SiO2	0,8	1,2	1,1	1,1	1,1	0,7	0,6	0,6
Al2O3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
FeO	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
MnO	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,2	0,3
MgO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SrO								
Na2O	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4
K2O	0,0	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
TiO2								
F % peso	3,0	3,7	5,2	4,3	5,0	3,2	4,6	3,7
Cl % peso	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
V ppm								
Y ppm	8221,5	12481,9	12340,1	11615,6	12899,3	10686,4	9552,4	10166,6
La ppm	2106,2	2063,5	1884,5	2225,5	1722,5	2941,8	2549,6	1816,3
Ce ppm	6984,1	8409,9	7948,9	7257,3	5822,9	8392,9	6599,9	6719,4
F/Cl	175,3	186,1	303,9	305,4	276,4	202,3	271,4	306,5

BSG=Biotita sienogranito