



**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. Herbert 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 de 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, 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). Este enriquecimento em ETR fica mais evidente no diagrama $\Sigma\text{ETR}+\text{Y}$ *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 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, P₂O₅ 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.