



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

TESE DE DOUTORADO

**MAGMATISMO GRANITÓIDE ARQUEANO DA ÁREA DE
CANAÃ DOS CARAJÁS: IMPLICAÇÕES PARA A
EVOLUÇÃO CRUSTAL DA PROVÍNCIA CARAJÁS**

Tese apresentada por:

GILMARA REGINA LIMA FEIO

Orientador: Prof. Dr. Roberto Dall'Agnol (UFPA)

**BELÉM
2011**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

F299m Feio, Gilmara Regina Lima

Magmatismo granitóide arqueano da área de Canaã dos Carajás: implicações para a evolução crustal da Província Carajás / Gilmara Regina Lima Feio; Orientador: Roberto Dall’Agnol – 2011
xv, 190 f.: il.

Tese (Doutorado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

1. Geocronologia. 2. Isótopo de Nd. 3. Geoquímica. 4. Granitóides Arqueanos 5. Evolução crustal. 6. Província Carajás. I. Dall’Agnol, Roberto, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22° ed.:551.70098115



Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**MAGMATISMO GRANITÓIDE ARQUEANO DA ÁREA DE
CANAÃ DOS CARAJÁS: IMPLICAÇÕES PARA A EVOLUÇÃO
CRUSTAL DA PROVÍNCIA CARAJÁS**


TESE APRESENTADA POR

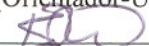
GILMARA REGINA LIMA FEIO

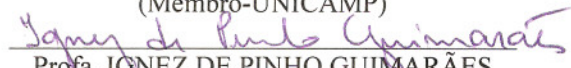
**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na
Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA**

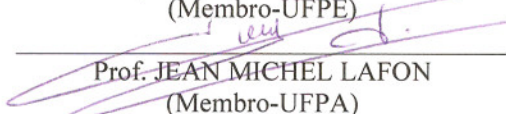
Data de Aprovação: 16/08/2011

Banca Examinadora:

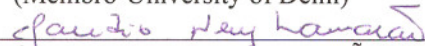

Prof. ROBERTO DALL'AGNOL
(Orientador-UFPA)


Prof. ELSON PAIVA DE OLIVEIRA
(Membro-UNICAMP)


Prof. IGNEZ DE PINHO GUIMARÃES
(Membro-UFPE)


Prof. JEAN MICHEL LAFON
(Membro-UFPA)

Prof. MUDLAPPA JAYANANDA
(Membro-University of Delhi)


Prof. CLAUDIO NERY LAMARÃO
(Membro suplente – UFPA)

Ao mestre com carinho,
com açúcar e com afeto.

AGRADECIMENTOS

A autora expressa seus sinceros e profundos agradecimentos a todas as pessoas e entidades que contribuíram para que este trabalho fosse concluído a contento, em especial:

- Ao Programa de Pós-Graduação em Geociências da Universidade Federal do Pará (UFPA), pelo fornecimento de infra-estrutura.

- Ao CNPq/Universal (Proc. 484524/2007-0) e INCT de Geociências da Amazônia pelo suporte financeiro. E ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo de doutoramento;

- Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Rochas Granitóides (GPPG) do Instituto de Geociências (IG) da UFPA, pelo suporte técnico-científico;

- Aos membros do laboratório de estudos geocronológicos, geodinâmicos e ambientais da UNB, em especial Elton, Sérgio, Barbara e Massimo;

- Ao Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA pelo suporte na aquisição dos dados isotópicos, em especial aos professores Moacir Macambira e Marco Toro;

- Ao João O. Santos, pela aquisição de dados SHRIMP U-Pb;

- Ao colegiado de Marabá, pela oportunidade de concluir esta tese com tranquilidade;

- Aos funcionários Cleida, Joelma, Edinelson, Lúcia e Macris da UFPA;

- A Alan Gomes, Alex, Erimar e Marcelo pelo passo inicial nos trabalhos desenvolvidos na região de Canaã dos Carajás; e a Albano, Cadu, Davis, Fabricia, Fernando e Patrick pelo auxílio no mapeamento geológico.

- A Adriel, Albano et al., Alice, Ari et al., Davis et al., Daniel, Eleison, Fabriciana, Ingrid, Lamarão et al., Macris, Mayara, Mara, Marcelo et al., Nathan, Pablo, Patrick, Roseli e Tayla, pelo esforço diário em desenvolver pesquisas na Província Carajás.

- Ao Hilton (MPEG), Régis (UFPA) e Gilvana (VALE), equipe Pitinga, obrigada pelo eterno incentivo;

- Um agradecimento especial ao Carlos Marcello e toda sua família pelo incentivo e apoio.

- Aos amigos Roberta, Marlon, Hérica, Tizzianne, Alex presuntinho e André Bob, pelos momentos de descontração e carinho que vocês me proporcionaram.

- À minha família, que é sem dúvida nenhuma a melhor do mundo, em especial aos meus sobrinhos e minhas mães.

- Por fim, a Roberto Dall’Agnol, meu ídolo, grande professor, pesquisador, orientador e amigo que tive a oportunidade de conviver. Foi Roberto que me despertou a *alegria* de trabalhar com granitos, que me estendeu a mão e me estimulou a procurar um caminho; que sempre me enriquece com sua presença.

Eu tentei evitar
Liguei a tevê
E deitei no sofá
Desde que haja tempo pra sonhar
E assuntos pra desenvolver
Não é muito fácil desligar
...O saldo final de tudo
Foi mais positivo que mil divãs
... Faz-me mais feliz
Dá-me asas pra fluir
(Tiê)

RESUMO

Mapeamento geológico e estudos geocronológicos, geoquímicos e petrológicos realizados nos granitóides arqueanos da área de Canaã dos Carajás na Província Carajás do Cráton Amazônico permitiram a definição de novas unidades granitóides que vieram a substituir inteiramente o Complexo Xingu, outrora dominante naquela área. Quatro grandes eventos magmáticos foram identificados, três de idade mesoarqueana e um de idade neoarqueana: (1) em 3,05-3,0 Ga ocorreu a formação do protólito do Complexo Pium e de rochas com idades similares cuja existência foi deduzida somente a partir de zircões herdados encontrados em diversas unidades; (2) em 2,96-2,93 Ga deu-se a cristalização do Granito Canaã dos Carajás e a formação das rochas mais antigas do Trondhjemito Rio Verde; (3) em 2,87-2,83 Ga foram formados o Complexo Tonalítico Bacaba, o Trondhjemito Rio Verde e os granitos Bom Jesus, Cruzadão e Serra Dourada; (4) no Neoarqueano, em 2,75-2,73 Ga foram originados as suítes Planalto e Pedra Branca e rochas charnoquíticas. Em termos geoquímicos foram distinguidos dois grandes grupos de granitóides: (A) As unidades tonalítico-trondhjemíticas que englobam o Complexo Tonalítico Bacaba e a Suíte Pedra Branca, que são geoquimicamente distintos dos típicos TTG arqueanos, e o Trondhjemito Rio Verde similar às séries TTG; (B) As unidades graníticas que cobrem mais de 60% da superfície de Canaã e incluem cinco unidades distintas. Os granitos mesoarqueanos Canaã dos Carajás, Bom Jesus, Cruzadão e Serra Dourada são compostos essencialmente de biotita leucomonzogranitos, enquanto que as rochas dominantes na Suíte neoarqueana Planalto são biotita-hornblenda monzogranitos a sienogranitos com conteúdo modal de máficos variando de 5% a 20%. Os granitos Canaã dos Carajás e Bom Jesus e a variedade do Granito Cruzadão com razões La/Yb mais elevadas são geoquimicamente similares aos granitos cálcio-alcalinos, enquanto que as outras variedades do Granito Cruzadão são transicionais entre granitos cálcio-alcalinos e alcalinos. O Granito Serra Dourada tem um caráter ambíguo em termos geoquímicos, pois apresenta similaridades ora com granitos cálcio-alcalinos, ora com os peraluminosos. Os granitos Canaã dos Carajás e Bom Jesus de Canaã são similares aos granitos com Alto-Ca, enquanto que os granitos Cruzadão e Serra Dourada se assemelham mais aos granitos Baixo-Ca do Cráton Yilgarn. As características geoquímicas dos granitos mesoarqueanos de Canaã se aproximam daquelas dos biotita granitos arqueanos do Cráton Dharwar, mas os últimos são enriquecidos em HFSE e ETRP quando comparados com os granitos mesoarqueanos de Canaã. As variações acentuadas das razões Sr/Y e $(La/Yb)_N$ observadas nos granitos de Canaã devem refletir predominantemente diferenças composicionais nas fontes dos magmas graníticos com efeito subordinado da pressão. O modelamento geoquímico sugere que a fusão parcial de uma fonte similar em composição a média de basaltos do Proterozóico Inferior ou a média da crosta continental inferior poderia gerar os magmas formadores do Granito Bom Jesus e da

variedade do Granito Cruzadão com razão $(La/Yb)_N$ mais elevada. O resíduo de fusão deveria conter proporções variáveis de plagioclásio, hornblenda, granada, clinopiroxênio ± ortopiroxênio e ilmenita. Nos demais granitos de Canaã, plagioclásio foi a fase dominante, a granada estava muito provavelmente ausente e a hornblenda teve influência limitada no resíduo de fusão. Uma pressão de 8 a 10 kbar e um ambiente crustal foi estimada para a geração dos magmas que apresentaram granada como uma das fases residuais tais como aqueles dos granitos Bom Jesus e similares. Os granitos neoarqueanos da Suíte Planalto são ferrosos e similares geoquimicamente aos granitos reduzidos do tipo-A. Porém, o ambiente tectônico e a associação entre a Suíte Planalto e rochas charnoquíticas levou-nos a propor que tais granitos sejam classificados como biotita-hornblenda granitos hidratados associados às séries charnoquíticas. A Suíte Planalto derivou da fusão parcial de rochas máficas a intermediárias toleíticas com ortopiroxênio similares àquelas do Complexo Pium. O magmatismo granitóide arqueano de Canaã difere significativamente daquele encontrado na maioria dos crátons arqueanos, incluindo o terreno Rio Maria, porque o magmatismo TTG não é abundante, rochas sanukitóides não foram identificadas e rochas graníticas são dominantes. A Suíte Planalto não possui equivalente no terreno mesoarqueano de Rio Maria, nem tampouco aparentemente nos crátons de Yilgarn e Dharwar. Os contrastes entre Canaã e o Terreno Granito-*Greenstone* de Rio Maria não favorecem a hipótese de uma evolução tectônica idêntica ou muito similar para estes dois domínios arqueanos da Província Carajás. A crosta arqueana de Canaã não mostra caráter juvenil e a curva de evolução do Nd sugere a existência de uma crosta um pouco mais antiga na área de Canaã em comparação ao Terreno Rio Maria. A crosta de Canaã existe pelo menos desde o Mesoarqueano (ca. 3.2 a 3.0 Ga) e foi fortemente retrabalhada durante o Neoarqueano (2.75 a 2.70 Ga). Um terreno similar ao da crosta Mesoarqueana de Canaã ou até mesmo a extensão da mesma deve corresponder ao substrato da Bacia Carajás; e o denominado subdomínio de ‘Transição’ apresentou, provavelmente, uma evolução distinta daquela do Terreno Rio Maria. A evolução Neoarqueana da Província Carajás foi marcada pela ascensão do manto astenosférico em um ambiente extensional, que provocou a formação da Bacia Carajás. Entre 2.73-2.7 Ga, o calor gerado pela colocação de magmas máficos induziu a fusão parcial da crosta inferior máfica e intermediária originando os granitóides das suítes Planalto e Pedra Branca, e os charnoquitos. A íntima relação entre a suíte Planalto e as rochas charnoquíticas sugerem similaridades de evolução com o magmatismo formado em temperaturas elevadas comumente encontradas em limites de blocos tectônicos ou em sua zona de interação.

Palavras-chave: Geocronologia. Isótopo de Nd. Geoquímica. Granitóides Arqueanos. Evolução crustal. Província Carajás.

ABSTRACT

Geological mapping, geochemical, and geochronological studies undertaken in the Archean granitoids of the Canaã area in the Carajás province, Amazonian craton, Brazil, led to the definition of new granitoid units that entirely replace the Xingu complex in the area. Four major magmatic events are indentified: three of Mesoarchean age and one of Neoproterozoic age. The succession of events is: (1) at 3.05-3.0 Ga, it occurred the formation of the protolith of the Pium complex and of rocks with similar ages only indicated by inherited zircons found in different units; (2) at 2.96-2.93 Ga, occurred the crystallization of the Canaã dos Carajás granite and the formation of the older rocks of the Rio Verde trondhjemite; (3) at 2.87-2.83 Ga, the Bacaba tonalitic complex, the Rio Verde trondhjemite, and the Cruzadão, Bom Jesus and Serra Dourada granites were formed; (4) in the Neoproterozoic, at 2.75-2.73 Ga, the Planalto and Pedra Branca suites and charnockite rocks were originated. Geochemically, two groups of granitoid units were distinguished: (1) The tonalitic-trondhjemitic units, which encompass the Bacaba tonalitic complex and the Pedra Branca suite, which are geochemically distinct of typical Archean TTG series, and the Rio Verde trondhjemite, akin to the TTG series; (2) the granitic units which cover more than 60% of the Canaã surface and include five distinct granites. The Mesoarchean Canaã dos Carajás, Bom Jesus, Cruzadão, and Serra Dourada granites are composed dominantly of biotite leucomonzogranites whereas the dominant rocks in the Neoproterozoic Planalto suite are biotite-hornblende monzogranites to syenogranites with total mafic content between 5% and 20%. The Canaã dos Carajás and Bom Jesus granites and the variety of the Cruzadão granite with higher La/Yb are geochemically akin to the calc-alkaline granites, whereas the other varieties of the Cruzadão granite are transitional between calc-alkaline and alkaline granites. The Serra Dourada granite has an ambiguous geochemical character with some features similar to those of calc-alkaline granites and other to peraluminous granites. The Canaã dos Carajás and Bom Jesus granites of Canaã are similar to the High-Ca granites, whereas the Cruzadão and Serra Dourada are more akin to the Low-CaO granites of the Yilgarn craton. The geochemical characteristics of the Mesoarchean Canaã granites approach those of the biotite granite group of the Dharwar craton but the latter are enriched in HFSE and HREE compared to the Mesoarchean granites of Canaã. The accentuated variation of the Sr/Y and $(La/Yb)_N$ ratios observed in the Canaã granites should reflect dominantly compositional differences in the sources of the granite magmas with a subordinate effect of pressure. Geochemical modeling suggests that partial melting of a source similar in composition to the average of Early Proterozoic basalts or to the average lower continental crust could be able to give origin to the Bom Jesus granite and to the variety of the Cruzadão granite with higher $(La/Yb)_N$. The residue of melting will contain variable proportions of plagioclase, amphibole, garnet, clinopyroxene \pm orthopyroxene, and ilmenite.

In the other Canaã granites, plagioclase was dominant, garnet was probably an absent phase in the residue of melting and the influence of amphibole was also apparently limited. A crustal environment and a pressure of 8 to 10 kbar is estimated for the generation of the Bom Jesus and similar granite magmas that left garnet as a residual phase. The Neoproterozoic Planalto granites have ferroan character and are similar geochemically to reduced A-type granites. The tectonic setting and the association between the Planalto suite and charnockitic series led us to propose classifying these biotite-hornblende granites as hydrated granites of the charnockitic series. The Planalto suite was derived by partial melting of mafic to intermediate tholeiitic orthopyroxene-bearing rocks similar to those of the Pium complex. The Archean granitoid magmatism in Canaã significantly differs of that found in most classical Archean cratons, including the Rio Maria terrane, because TTG magmatism is not abundant, sanukitoid rocks are absent and granitic rocks are dominant. The Neoproterozoic Planalto suite granite has no counterpart in the Mesoproterozoic Rio Maria terrane of the Carajás province, neither apparently in the Yilgarn and Dharwar cratons. The contrasts between Canaã and the Rio Maria granite-greenstone terrane do not favor a common tectonic evolution for these two domains of the Carajás province. The Archean crust of Canaã has not a juvenile character and the Nd evolution paths suggest the existence of a little older crust in the Canaã area compared to that of Rio Maria. The crust of the Canaã area existed at least since the Mesoproterozoic (ca. 3.2 to 3.0 Ga) and was strongly reworked during the Neoproterozoic (2.75 to 2.70 Ga). A similar terrane to that represented by the Canaã Mesoproterozoic crust or even an extension of it was probably the substratum of the Carajás basin formed during the Neoproterozoic. Probably there is no an effective transition between Rio Maria and the Carajás basin and the denominated 'Transition' subdomain had more probably an evolution distinct of that of Rio Maria. The Neoproterozoic evolution of the Carajás province is marked by the upwelling of the asthenospheric mantle in an extensional setting that propitiated the formation of the Carajás basin. Later on, at ca. 2.73-2.70 Ga, the heat input associated with underplate of mafic magma induced the partial melting of mafic to intermediate lower crustal rocks originating the Planalto and Pedra Branca suites, and charnockite rocks. The close association between the Planalto suite and charnockitic rocks suggests similarity between its evolution and that of the high temperature granite magmatism commonly found near the limits between distinct tectonic blocks or in their zone of interaction.

Keywords: Geochronology. Nd isotope, Geochemistry. Archean Granitoids. Crustal evolution. Carajás Province.



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

PARECER

**Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de
GILMARA REGINA LIMA FEIO**

A banca examinadora da tese de doutorado de GILMARA REGINA LIMA FEIO intitulada “**MAGMATISMO GRANITÓIDE ARQUEANO DA ÁREA DE CANAÃ DOS CARAJÁS: IMPLICAÇÕES PARA A EVOLUÇÃO CRUSTAL DA PROVÍNCIA CARAJÁS**”, composta pelos Professores Doutores Roberto Dall’ Agnol (Orientador-UFPA) Elson Paiva de Oliveira (UNICAMP) Ignez de Pinho Guimarães (UFPE), Jean Michel Lafon (UFPA), Cláudio Nery Lamarão (UFPA) após a apresentação oral e arguição da candidata, emite o seguinte parecer:

A candidata fez uma apresentação pública clara, bem estruturada e de conteúdo atualizado e relevante. Na arguição, a candidata mostrou segurança, domínio do assunto e maturidade científica, respondendo adequadamente aos questionamentos dos membros da banca examinadora.

O documento, elaborado na forma de agregação de três artigos científicos, submetidos a revistas especializadas internacionais, constitui uma contribuição valiosa para o entendimento do magmatismo da região de Canaã dos Carajás e da evolução geodinâmica da Província Mineral de Carajás.

Com base no exposto, a banca examinadora, por unanimidade, considera a candidata aprovada com **Distinção**.

Belém, 16 de agosto de 2011.

Prof. Dr. Roberto Dall’ Agnol
 Membro (Orientador-UFPA)

Prof. Dra. Ignez de Pinho Guimarães
 Membro (UFPE)

Prof. Dr. Elson Paiva de Oliveira
 Membro (UNICAMP)

Prof. Dr. Jean Michel Lafon
 Membro (UFPA)

Prof. Dr. Cláudio Nery Lamarão
 Membro (UFPA)