



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

**TESE DE DOUTORADO N° 130**

**ESTUDOS ISOTÓPICOS DE U-Pb, Lu-Hf E  $\delta^{18}\text{O}$  EM ZIRCÃO:  
IMPLICAÇÕES PARA A PETROGÊNESE DOS GRANITOS  
TIPO-A PALEOPROTEROZOICOS DA PROVÍNCIA  
CARAJÁS – CRÁTON AMAZÔNICO**

**Tese apresentada por:**

**MAYARA FRAEDA BARBOSA TEIXEIRA**

**Orientador: Roberto Dall'Agnol (UFPA)**

**Coorientador: João Orestes Schneider Santos(UWA)**

**Belém**

**2018**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

---

Teixeira, Mayara Fraeda Barbosa, 1986-

Estudos isotópicos de U-Pb, Lu-Hf e  $\delta^{18}\text{O}$  em zircão: implicações para a petrogênese dos granitos tipo-A paleoproterozóicos da Província Carajás – Cráton Amazônico / Mayara Fraeda Barbosa Teixeira. – 2018

xii, 203 f. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Roberto Dall'Agnol

Coorientador: João Orestes Schneider Santos

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2018.

1. Rochas ígneas. 2. Isótopos. 3. Geocronologia. 4. Crátons – Amazônia. I. Título.

---

CDD 22. ed.: 552.1

Elaborado por  
Hélio Braga Martins  
CRB-2/698



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

**ESTUDOS ISOTÓPICOS DE U-Pb, LU-Hf E  $\delta^{18}\text{O}$  EM  
ZIRCÃO: IMPLICAÇÕES PARA A PETROGÊNESE DOS  
GRANITOS TIPO-A PALEOPROTEROZOICOS DA  
PROVÍNCIA CARAJÁS – CRÁTON AMAZÔNICO**


TESE APRESENTADA POR:


**MAYARA FRAEDA BARBOSA TEIXEIRA**

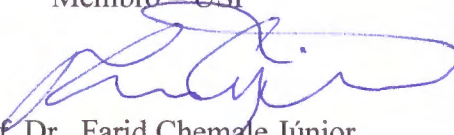
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutora em Ciências na Área  
de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA

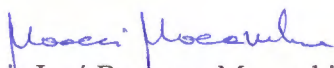
Data de Aprovação: 05 / 04 / 2018

Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. Roberto Dall'Agnol  
Orientador – UFPA

  
Prof. Dr. Wilson Teixeira  
Membro – USP

  
Prof. Dr. Farid Chemale Júnior  
Membro – UNISINOS

  
Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira  
Membro – UFPA

  
Prof. Dr. Davis Carvalho de Oliveira  
Membro – UFPA

Aos meus pais Maria das  
Graças Barbosa e Luis  
Augusto dos Santos Teixeira  
com todo meu amor e  
gratidão.

## AGRADECIMENTOS

É difícil expressar os devidos agradecimentos a todas as pessoas e entidades que contribuíram para que este trabalho fosse desenvolvido ao longo desses 4 anos, em especial agradeço:

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

- Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudo de doutoramento e ao INCT de Geociências da Amazônia pelo suporte financeiro;

- Ao meu orientador e amigo prof. Roberto Dall’Agnol com quem tive a oportunidade de estar desenvolvendo pesquisas desde o mestrado. Por todo aprendizado, suporte, estímulo e força pra que eu pudesse terminar com êxito essa Tese. Obrigada também por acreditar na minha capacidade de desenvolver esse trabalho;

- Ao meu co-orientador João Orestes Schneider Santos que me auxiliou durante o estágio sanduiche no exterior, com a aquisição das análises, com todos os problemas que surgiram. Agradeço a todas as críticas e discussões durante o desenvolvimento dos artigos e finalização da Tese;

- A minha família, meus pais e irmãos Luis Augusto e Moreno Teixeira, e a minha tia Patricia Teixeira sempre presentes ao longo dessa jornada;

- Ao Grupo de Pesquisa Petrologia de Rochas Granitóides (GPPG) do Instituto de Geociências (IG) da UFPA, especialmente aos meus companheiros de sala, Caio Mesquita, Ingrid Cunha e Luan Alexandre pelos momentos de discussão e descontração, especialmente nas nossas horas de café.

- Ao Laboratório de Geologia Isotópica da UFPA pelo suporte na aquisição dos dados isotópicos;

- As funcionárias Cleida e Joelma, da UFPA, que estão sempre dispostas a auxiliar e ajudar no que for preciso;

- Ao meu namorado João Albuquerque por todo carinho, incentivo, paciência e apoio nos momentos mais difíceis, sempre me estimulando a fazer meu melhor;

- Agradeço imensamente a amiga Érika Santiago que me ajudou no Brasil e em Perth e esteve presente nos momentos de maior dificuldade;

- Aos amigos Aline Vieira, João Milhomen, Pablo Leite, Lilian Paula, Ana Flávia, pelos momentos de discussão e descontração, com muitas conversas de incentivo e apoio, sempre presentes ao longo desses anos;

Aos amigos da UWA Danilo Câmelo, Jéssica Bogossian, Sylvio Dutra e Sun Xiang que tanto me ajudaram durante meu período de estágio tornando minha estadia ainda mais agradável;

Aos amigos de Perth Hiromi Shidori e Felia com quem compartilhei momentos agradáveis em Perth.

“Inteligência é a  
capacidade de se adaptar à  
mudança” Stephen Hawking.

## RESUMO

Em ~1880 Ma, um extenso evento magmático gerou granitos tipo-A com afinidade rapakivi no Cráton Amazônico, com destaque para a Província Carajás. Nesta província, esse magmatismo compreende batólitos e stocks anorogênicos agrupados em três suítes: (1) Suíte Jamon oxidada; (2) Suíte Velho Guilherme, ferrosa reduzida, com leucogranitos estaníferos associados; (3) Suíte Serra dos Carajás, constituída por plutons moderadamente reduzidos. Além dessas três suítes, também ocorrem nos diferentes domínios da província outros corpos graníticos tipo-A com características semelhantes aos das suítes mencionadas. Entre eles, dispõem-se de informações sobre os granitos Seringa, São João, Gogó da Onça, Rio Branco e Gradaús. O Granito Gogó da Onça Granite (GGO) compreende um stock localizado no sudeste de Canaã dos Carajás, composto por biotita-anfibólio granodiorios, biotita-anfibólio monzogranito e biotita-anfibólio sienogranito. Apresenta comportamento geoquímico similar aos granitos anorogênicos de Carajás. É um granito metaluminoso, ferroso do subtipo A2-com caráter reduzido. O comportamento dos elementos traços sugere que suas diferentes fácies são relacionadas por cristalização fracionada. Dados U-Pb SHRIMP em zircão e titanita mostraram que o GGO cristalizou entre ~ 1880 e 1870 Ma. Esse granito mostra contrastes significativos com as suítes Jamon e Velho Guilherme. O GGO é mais parecido com a Serra dos Carajás e com os granitos Seringa e São João, e aos granitos Sherman (mesoproterozóico) dos EUA e o Batólito Suomenniemi (paleoproterozóico) da Finlândia. Novos dados U-Pb SHRIMP para os granitos das suítes Jamon, Serra dos Carajás e Velho Guilherme, e para os granitos Seringa e São João mostraram que esses plutons cristalizaram entre 1880 Ma e 1857 Ma, situando-se o principal pico do magmatismo em cerca de 1880 Ma. As análises em zircão e titanita revelaram ainda idades de ~1900 Ma a ~1920 Ma nas suítes Velho Guilherme e Jamon e no Granito Seringa que representam possivelmente fases cristalizadas precocemente, incorporadas nos pulsos magmáticos dominantes, mais tardios. Também foram obtidas idades mais jovens (~1865 Ma a ~1857 Ma), comparadas aquelas obtidas para as fases menos evoluídas, para leucogranitos que formam stocks tardios nos corpos Bannach e Redenção. Esses dados sustentam a interpretação de que estes leucogranitos foram gerados por pulsos magmáticos independentes e tardios na evolução daqueles corpos, conforme já havia sido proposto por outros autores. Além das idades mencionadas, uma idade de  $1732 \pm 6$  Ma foi obtida na facies de leucogranita do pluton Antônio Vicente da Suíte Velho Guilherme, e poderia representar um evento magmático na região do Xingu ainda não relatado ou, eventualmente, poderia corresponder a um evento hidrotermal isolado que permitiu o crescimento de zircões. Além dos dados geocronológicos esses granitos foram analisados por



isótopos de Hf, O e alguns plutons por isótopos de Nd. Em geral, os zircões analisados desses granitos têm composição inicial  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  razoavelmente restrita, variando entre 0,281156 e 0,281384, com valores fortemente negativos  $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$  variando de -9 a -18 e  $\delta^{18}\text{O}$  homogêneos variando de 5,50 ‰ a 7,00 ‰. Os valores obtidos para o  $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$  nos diferentes granitos analisados são fortemente negativos e coerentes de modo geral com os dados isotópicos de Nd. Na Suíte Serra dos Carajás os valores de  $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$  variam entre -14 a -15,5, na Suíte Jamon entre -9,5 a -15, e na Suíte Velho Guilherme entre -12 a -15, enquanto que os granitos São João, Seringa e Gogó da Onça tendem a apresentar valores mais acentuadamente negativos [ $\epsilon_{\text{Hf}(t)} = -12$  a -18]. Apesar dos dados isotópicos serem homogêneos, pequenas variações foram observadas em diferentes plutons de uma mesma suíte e em diferentes fácies de um pluton. Com por exemplo na Suíte Jamon, as composições isotópicas são mais variáveis, especialmente nos leucogranitos evoluídos dos plutons Bannach e Redenção, e fontes com contraste no grau de oxidação podem ser desenvolvidas na geração desses leucogranitos. Os dados isotópicos de Hf indicaram fontes crustais paleoarqueanas (3.3Ga 3.6 Ga) com menor contribuição mesoarqueana (3,0 Ga a 3,2 Ga) como fontes desses granitos. Essas idades são mais antigas que as idades das rochas Arqueanas encaixantes desses granitos, que estão expostas na Província Carajás, e é necessário investigar a presença de crosta arqueana mais antiga em Carajás. As composições de Nd, Hf e O dos granitos paleoprozozóicos da Província de Carajás atestam claramente fonte crustais ígnea arqueanas na origem de seus magmas. As diferenças observadas podem resultar em contrastes nos domínios crustais da Província Carajás que foram a fonte dos granitos ou por processos de contaminação local.

Palavras-chave: Granitos tipo-A. U-Pb-SHRIMP. Isótopos de Hf-O. Isotopos de Nd. Província Carajás. Cráton Amazônico.

## ABSTRACT

In ca. 1880 Ma an extensive magmatic event generated A-type granites with rapakivi affinity in the Amazonian Craton, especially in the Carajás Province. In this Province these granites are grouped into three main suites according to mineralogy, geochemistry, and state of oxidation of their magmas – Jamon, Velho Guilherme, and Serra dos Carajás – and include also the Gogó da Onça, Seringa, São João, Gradaús, and Rio Branco plutons. The Gogó da Onça Granite (GOG) comprise a stock composed by biotite-amphibole granodiorite, biotite-amphibole monzogranite and amphibole-biotite syenogranite. The GGO crosscut discordantly the Archean country rocks and are not foliated. All Gogó da Onça Granite varieties are metaluminous, ferroan A2-subtype granites with reduced character. The major and trace element behavior suggests that its different facies are related by fractional crystallization. Zircon and titanite U–Pb SHRIMP ages show that the pluton crystallized at ~1880-1870 Ma. This is more akin to the Serra dos Carajás Suite and to the Seringa and São João granites of Carajás and to the Mesoproterozoic Sherman granite of USA and the Paleoproterozoic Suomenniemi Batholith of Finland. New U-Pb SHRIMP data for the Serra dos Carajás, Velho Guilherme and Jamon Suite and for Seringa and São João Granite show that these plutons crystallized between 1880 Ma to 1857 Ma. Some granites of the Velho Guilherme and Jamon suites and of the Seringa Granite presented 1920 to 1900 m. y. old zircon and titanite crystals interpreted here as antecrysts from an earlier pulse of magma that were incorporated in the main later pulse of 1880 Ma. We also obtained ages of 1865 Ma to 1857 Ma in the leucogranite facies of the Redenção and Bannach plutons, which indicate that the leucogranites of these plutons are younger than their ~1880 Ma old granites and were generated by independent magma pulses that are not cogenetic with the less evolved facies of the respective plutons. Besides it, an age of  $1732 \pm 6$  Ma obtained in the leucogranite facies of the Antônio Vicente pluton of the Velho Guilherme Suite that could represent a magmatic event in the Xingu Region not yet reported or, eventually, could correspond to an isolate hydrothermal event that allowed the growth of zircons. These granites have been also analysed by Lu–Hf and Oxygen isotopes and few granites also by Nd isotopes. Zircons from all the granites have remarkably restricted initial  $^{176}\text{Hf}/^{177}\text{Hf}$  (0.281156 and 0.281384) and strongly negative  $\epsilon\text{Hf}(t)$  values ranging from  $-9$  to  $-18$ , and  $\delta^{18}\text{O}$  fairly homogeneous varying from  $5.50\%$  to  $7.00\%$ . Small differences were observed internally in the plutons or between them. The  $\epsilon\text{Hf}(t)$  values of the analysed plutons are strongly negative and similar to Nd isotopic data. The Serra dos Carajás Suite has  $\epsilon\text{Hf}(t)$  values of  $-14$  to  $-15.5$ , the Jamon Suite of  $-9.5$  to  $-15$  and values of  $-12$  to  $-15$  for the Velho Guilherme Suite, while São João, Seringa and Gogó da

Onça granites have stronger negative values ( $\epsilon_{\text{Hf}(t)} = -12$  to  $-18$ ). Crustal model ages indicate a Paleoproterozoic source (3.3 Ga to 3.6 Ga) with a minor contribution from Mesoproterozoic (3.0 Ga to 3.2 Ga) melts for these granites. These model ages are older than the exposed Archean country rocks of the Orosirian granites of the Carajás Province and more investigation is needed to verify the real existence of that older Archean crust. The studied samples have Hf–O isotopic compositions that overlap within error, and evidence of contamination (crustal assimilation or mixing) of a mantle-derived magma cannot be seen. These plutons crystallized from magmas generated by melting of pre-existing igneous rocks with possibly in the Velho Guilherme Suite a minor contribution from a supracrustal (metasedimentary) component. The Nd, Hf, and O isotope compositions of the Paleoproterozoic granites of Carajás Province clearly attest to an igneous ancient crustal source in the origin of their magmas. The differences observed can result from contrasts in the crustal domains of the Carajás Province that were the source of the granites or of local contamination processes.

**Keywords:** A-type granites. U-Pb SHRIMP. Hf-O isotopes. Carajás Province. Amazon Craton.