



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

TESE DE DOUTORADO Nº 169

GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E ISÓTOPOS (U-Pb, Lu-Hf e Sm-Nd) DE GRANITOS OROSIRIANOS DO DOMÍNIO IRIRIXINGU SETENTRIONAL, PROVÍNCIA AMAZÔNIA CENTRAL

Tese apresentada por:

DAVI DA COSTA BEZERRA GOBIRA DE ALCÂNTARA

Orientador: Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira (UFPA)

Coorientação: Dr. Marcelo Lacerda Vasquez (CPRM)

**BELÉM – PARÁ
2023**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

A347g Alcântara, Davi da Costa Bezerra Gobira de.
Geologia, geoquímica e isótopos (U-Pb, Lu-Hf e Sm-Nd) de
granitos orosirianos do Domínio Iriri-Xingu setentrional, Província
Amazônia Central / Davi da Costa Bezerra Gobira de Alcântara. —
2023.
xiii,94 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira
Coorientador(a): Prof. Dr. Marcelo Lacerda Vasquez
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e
Geoquímica, Belém, 2023.

1. Geoquímica. 2. Isótopos. 3. Geocronologia. 4.
Orosiriano. 5. Cráton Amazônico. I. Título.

CDD 551.908115



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E ISÓTOPOS (U-Pb, Lu-Hf e Sm-Nd) DE GRANITOS OROSIRIANOS DO DOMÍNIO IRIRIXINGU SETENTRIONAL, PROVÍNCIA AMAZÔNIA CENTRAL

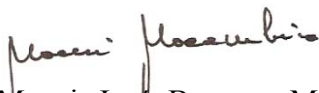
TESE APRESENTADA POR:

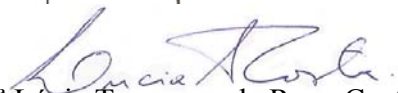
DAVI DA COSTA BEZERRA GOBIRA DE ALCÂNTARA

Como requisito parcial à obtenção de Grau de Doutor em Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA, linha de pesquisa GEOCRONOLOGIA E GEOLOGIA ISOTÓPICA.

Data de aprovação: 29 / 03 / 2023


Banca examinadora:


Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira
(Orientador – UFPA)


Dr.^a Lúcia Travassos da Rosa-Costa
(Membro-CPRM)


Prof. Dr. Miguel Angelo Stipp Basei
(Membro-USP)


Prof. Dr. Jean Michel Lafon
(Membro-UFPA)


Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão
(Membro-UFPA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Moacir Macambira, pelo acolhimento inicial na Universidade Federal do Pará, pela orientação e ajuda ao longo dos quatro anos e meio de projeto. Agradeço aos demais professores do Instituto de Geociências, que de alguma forma contribuíram para a minha formação como geólogo e pesquisador. Ao Professor Cândido, pelas excelentes aulas de geoquímica, e sua antiga, mas efetiva metodologia de aprendizagem baseada na resolução de exercícios em sala de aula. Ao Professor Carlos Marcello, que se fez sempre presente e pronto no auxílio em qualquer dúvida apresentada. Ao Professor Lafon, pelas excelentes aulas e discussões acerca da geoquímica isotópica. Aos professores Marco Galarza e João Milhomem, pelas aulas e auxílio nas análises isotópicas no Laboratório Pará-Iso. Agradeço à equipe da Oficina de Laminação, Joelma e Bruno, pela confecção de numerosas lâminas e *mounts*, e pela disposição exemplar no desempenho da função, mesmo durante a pandemia de Covid-19.

Separo uma parte especial dos agradecimentos para dedicar à CPRM, seus funcionários e estrutura. Ao pesquisador Marcelo Lacerda Vasquez, exemplo profissional e de vida, que auxiliou sem medida a execução deste projeto, e sem o qual seria quase impossível concluir. Agradeço-o pela orientação, discussão de temas gerais ou geológicos e o fornecimento sem restrição da infraestrutura dos laboratórios da CPRM-Belém para execução das etapas. À técnica de laboratório Rosalva, pelos ensinamentos, pela gentileza, presteza e companheirismo. Aos colaboradores da CPRM, Érica e Sr. Walmir pela convivência e ajuda no dia a dia.

Aos colegas de Pós-graduação, Flávio, Jenny, Eduardo, Amanda, Renata, Vanisse, Luiz Saturnino, Bruna e Hugo. Aos colaboradores do programa Cleida, Joanicy e Joice. Ao Professor Cristiano Lana, pela atenção e apoio na execução das análises na Universidade Federal de Ouro Preto. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq - através do Auxílio CNPq, projeto “Geocronologia e Geoquímica Isotópica Aplicadas à Evolução Crustal e Metalogenia do Amazônia Oriental”, Processo: 428287/2016-6, Chamada Universal 01/2016 - Faixa C, coordenado pelo Professor Moacir Macambira.

Por fim, agradeço à minha família pelo apoio, disponível sempre que necessário. E ao meu par Gabriela.

RESUMO

O Orosiriano do sudeste do Cráton Amazônico se caracteriza por associações ígneas dos tipos I, A e raro tipo S aflorantes nos domínios, de oeste para leste, Tapajós, Iriri-Xingu e Carajás. O Domínio Tapajós representa, pelo menos em parte, a porção mais proximal de uma borda continental ativa, enquanto o Domínio Carajás representaria a porção crustal mais antiga, estabilizada no Neoarqueano. Já o Domínio Iriri-Xingu (DIX), no centro, ainda tem seu significado tectônico incerto. Os episódios magmáticos que afetaram essa região no Orosiriano se dividem em três intervalos temporais. O primeiro intervalo, entre 2030 e 2000 Ma, é marcado por um vulcano-plutonismo juvenil, cálcio-alcálico do tipo I, presente no Domínio Tapajós. O segundo intervalo, entre 2000 a 1960 Ma, é composto por uma série de rochas vulcano-plutônicas cálcio-alcálicas de alto K a shoshoníticas do tipo I, que afloram no Domínio Tapajós e se expandem para leste, até o DIX. As associações ígneas ligadas ao terceiro intervalo (1900 a 1860 Ma) representam um magmatismo cálcio-alcálico do tipo I e um magmatismo do tipo A associado a rochas máficas. O magmatismo do tipo A - do sub-tipo A₂ - possui um contexto geográfico mais amplo que a associação do tipo I e aflora em uma área extensiva ao longo do Cráton Amazônico (cerca de 1.500.000 km²). Essas rochas são atribuídas genericamente à *Silicic LIP Uatumã*. Nesta tese são apresentados novos dados geológicos, litoquímicos e isotópicos (U-Pb, Lu-Hf em zircão e Sm-Nd em rocha total) de diferentes corpos graníticos do segundo e terceiro episódios magmáticos que afloram na região centro-leste e noroeste do DIX. No centro-leste do domínio foram estudados os granitos São Pedro do Iriri, Vila Primavera, Caboclo e Jabá, todos alcálicos a subalcálicos, metaluminosos a ligeiramente peraluminosos, ferroanos a pouco magnesianos. Os três primeiros granitos possuem afinidade com os granitos tipo A reduzidos estaníferos da Suíte Velho Guilherme. Dados U-Pb e Lu-Hf permitiram estabelecer uma idade de 1897 ± 8 Ma para o Granito São Pedro do Iriri, com valores de $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$, entre -8,22 e -17,44, apontando para uma mistura de fontes crustais do Meso e Paleoarqueano. Já o Granito Jabá apresenta afinidade química com outros granitos tipo A oxidados dos domínios DIX e Carajás. Esse granito apresentou uma idade U-Pb em zircão de 1887 ± 14 Ma e valores de $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$ de -6,43 a -10,21, indicando uma fonte crustal mais radiogênica, homogênea e de idade predominantemente mesoarqueana. As rochas cálcio-alcálicas do tipo I típicas estudadas neste trabalho compreendem os granitos Rio Bala, Porto Estrela e amostras graníticas esparsas do Rio Iriri - que representam, entre outros plutons, os granitos Serra do Chavito e Pedra do O. Em comum, essas rochas apresentam caráter magnesiano, cálcio-alcálico de alto K a subordinadamente shoshonítico e são metaluminosas à anfibólio e biotita. O Granito Porto

Estrela possui fácies de composição tonalítica a granítica e tem idade U-Pb em zircão de $1972 \pm 6,6$ Ma. As amostras de granitos cálcio-alcálicos do Rio Iriri são quartzo-monzoníticas a graníticas. Entre elas, amostras dos granitos Serra do Chavito e Pedra do O apresentaram, respectivamente, idades de $1987 \pm 6,6$ e 1988 ± 8 Ma. As idades aqui apresentadas para o Granito Porto Estrela e granitos do Rio Iriri permitem correlacioná-los à associação vulcano-plutônica de 2,00 a 1,96 Ga aflorante nos domínios DIX e Tapajós. O Granito Rio Bala apresentou fácies quartzo-monzoníticas a graníticas, *trend* químico típico das rochas subalcalinas e idade de $1877 \pm 8,2$ Ma. Esse granito corresponde ao primeiro registro do plutonismo cálcio-alcálico de alto K cronocorrelato às rochas vulcânicas do Grupo Iriri (riolitos e dacitos cálcio-alcálicos de 1,88-1,87 Ga) no DIX. Quimicamente, ele possui caráter mais evoluído e afinidade à fácies granítica da Suíte Parauari. As demais rochas estudadas da região noroeste do DIX constituem duas amostras atípicas de granitos tipos A e I, oriundas respectivamente dos plútons Cachoeira do Julião e Igarapé Limão. O granito tipo A é representado por um Cpx-hb-bt quartzo-sienito, cujos dados geocronológicos prévios (1889 ± 3 Ma) permitem uma correlação direta com o plutonismo alcálico associado à SLIP Uatumã. A outra rocha constitui um biotita monzogranito de caráter fracamente peraluminoso, magnésiano e cálcio alcálico de médio a alto potássio, com características químicas afins aos granitos tipo I e também às rochas adakíticas. O padrão concavo para cima de ETR e a razão relativamente baixa de Dy/Yb (1,04) sugerem anfibólio residual ou fracionamento desse mineral em relativamente alta P com granada. Os baixos teores de MgO, #Mg, Yb e Ni e alto FeO_t/MgO indicam uma afinidade dessa amostra com os adakitos de fusão de crosta inferior espessada. As condições necessárias para a gênese dessa rocha são satisfeitas se considerarmos que a crosta desse domínio foi deformada e espessada no Ciclo Transamazônico e posteriormente estirada no Orosiriano. Uma compilação de dados relacionados ao magmatismo do tipo I com idades entre 2,00 e 1,96 Ga sugerem um evento extenso, com uma área mínima de 190.000 km², mas relativamente breve, com duração de cerca de 40 Ma. Extrapolando-se condições geodinâmicas modernas para o Paleoproterozoico, conclui-se que esse padrão espacial-temporal não pode ser explicado unicamente pelo processo de subducção. Depreende-se, portanto, que pelo menos parte desse magmatismo seja gerado em ambiente de margem convergente por processo outro que não a subducção ou, alternativamente, um evento pós-orogênico. O mesmo encadeamento lógico pode ser adequadamente utilizado para as rochas cálcio-alcálicas 100 M.a. mais jovens. Os dados isotópicos de Nd para as amostras estudadas apresentaram valores de $\epsilon Nd(t)$ moderadamente a fortemente negativos e idades modelo Nd-T_{DM} siderianas a mesoarqueanas. Esses dados, juntamente aos dados da literatura, evidenciam uma crosta heterogênea, pelo

menos em parte composta por uma crosta similar à de Carajás. As assinaturas isotópicas neoarqueanas e siderianas poderiam representar, de modo não mutuamente excludente: a presença de segmentos crustais juvenis; mistura entre crosta antiga arqueana e material mantélico (provavelmente do Riáciano e/ou Orosiriano); ou ainda mistura de componentes crustais variados. Essa crosta poderia ser interpretada como núcleos preservados paleo a mesoarqueanos margeados por crosta retrabalhada e possivelmente afetada por *inputs* juvenis no Riáciano e/ou Eo-Orosiriano, além de apresentar blocos/segmentos isolados de rochas juvenis neoarqueanas e riácianas. No que concerne a litoestratigrafia do DIX, sugere-se que o Grupo Iriri seja composto das formações Santa Rosa, formada por vulcânicas ácidas do tipo A, e Confresa, formada por vulcânicas ácidas cálcio-alcalinas do tipo I, ambas com idades entre 1,90 e 1,86 Ga. Propomos que as rochas vulcânicas cálcio-alcalinas com idades entre 2,00 e 1,96 Ga, anteriormente relacionadas ao Grupo Iriri, sejam agrupadas na Formação Jarinã. Também recomendamos a adoção do termo Suíte Vila Rica para designar os granitos do tipo I cronocorrelatos à Formação Jarinã. Sugerimos o agrupamento dos granitos tipo A afins aos granitos oxidados de Carajás na Suíte Rio Dourado. Em respeito aos granitos tipo A reduzidos potencialmente estaníferos, recomendamos sua inclusão na unidade proposta Suíte São Pedro do Iriri.

Palavras-chave: Domínio Iriri-Xingu; SE do cráton Amazônico; Orosiriano; granitos tipos A e I; granitos cálcio-alcalinos;

ABSTRACT

The Orosirian of SE Amazonian Craton is mainly characterized by igneous associations from I, A and rare S types outcropping from west to eastward, in the Tapajós, Irixi-Xingu and Carajás domains. The Carajás domain represents the oldest crustal region, stabilized during the Neoproterozoic. The Tapajós domain represents, at least to some extent, the proximal region of a continental margin activated during the Orosirian. The Irixi-Xingu domain (IXD), at the center, still holds an uncertain tectonic role. These igneous associations were formed in multiple magmatic episodes through this geological period, which can be temporally divided in three intervals. The first interval, from 2030 to 2000 Ma, is marked by a juvenile, I-type, calc-alkaline volcano-plutonism in the Tapajós domain. The second interval, from 2000 to 1960 Ma, is marked by a series of I type, high K calc-alkaline to shoshonitic rocks that expands from Tapajós domain to the east, in the IXD. The rocks of the third interval (1900 to 1860 Ma) are represented by an I type calc-alkaline magmatism and an A type magmatism, the later associated to mafic rocks. The A type rocks, typically from A₂ sub-type, belong to a broader geographical context than the I type magmatism, and outcrop in an extensive area through the Amazonian Craton (ca. 1,500,000 km²). These rocks are generically attributed to the Silicic LIP Uatumã. In this thesis, we concentrate on the plutonic part of these associations and present new geological, lithochemical and isotopic (U-Pb, Lu-Hf in zircon and whole rock Sm-Nd) data for granites of the second and third magmatic episodes from central-eastern and northern IXD. In central-eastern IXD, the granites São Pedro do Irixi, Vila Primavera, Caboclo and Jabá present an alkaline to subalkaline, metaluminous to slightly peraluminous, ferroan to slightly magnesian character. The first three granites are akin to the reduced tin-specialized A type granites of Velho Guilherme Suite, from Carajás Domain. U-Pb and Lu-Hf data provided a crystallization age of 1897 ± 8 Ma for the São Pedro do Irixi Granite, and $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$ values (from -8.22 to -17.44) that point to a mixing of meso and paleoproterozoic crustal sources. The Jabá Granite exhibits geochemical affinity to the oxidized A type granites from Irixi-Xingu and Carajás domains. This granite yielded a U-Pb in zircon crystallization age of 1887 ± 14 Ma and $\epsilon_{\text{Hf}(t)}$ values of -6.43 to -10.21, indicating a more radiogenic, homogeneous and predominantly mesoproterozoic crustal source. The classic I type calc-alkaline rocks studied in this work comprise the Rio Bala, Porto Estrela and other sparse granitic samples from Irixi river that represent, among others plutons, the Serra do Chavito and Pedra do O granites. They are amphibole and biotite bearing rocks that show magnesian, metaluminous, high K calc-alkaline to slightly shoshonitic character. The Porto Estrela Granite exhibits tonalitic to granitic facies and yielded

a U-Pb age of 1972 ± 6.6 Ma. The samples of the calc-alkaline granites from Iriri river are quartz-monzonitic to granitic in composition. Samples from the Serra do Chavito and Pedra do O granites yielded ages of 1987 ± 6.6 and 1988 ± 8 Ma, respectively. The ages yielded by the Porto Estrela and the Iriri river's granites correlate these rocks to the second interval volcano-plutonic association of Iriri-Xingu and Tapajós domains. The Rio Bala Granite is quartz-monzonitic and granitic in composition, exhibits a chemical trend typical of subalkaline rocks and yielded a U-Pb in zircon age of 1877 ± 8.2 Ma. This granite represents the first record of a high K calc-alkalic plutonism coeval to the volcanic rocks of the Iriri Group (1.88-1.87 Ga calc-alkaline rhyolite and dacite) in IXD. Chemically, it presents a more evolved character and affinity to the granitic facies of Parauari Suite. The remaining studied rocks of the central and northern IXD comprise two atypical samples of A type and I type granites, that represents respectively the Cachoeira do Julião and Igarapé Limão plutons. The A type granite sample is a cpx-hb-bt quartz-syenite. Its petrographical, chemical and previous geochronological data (1889 ± 3 Ma) allow a correlation with the plutonic rocks of the Uatumã SLIP. The other sample constitutes a biotite monzogranite of magnesian, slightly peraluminous, medium to high K calc-alkaline character, similar to the I type adakitic rocks. The REE curved upwards pattern and the relatively low Dy/Yb ratio (1.04) suggest residual amphibole or its fractioning in relatively high P in presence of garnet. The low contents of MgO, #Mg, Yb and Ni, and high FeO_t/MgO ratio indicate an affinity to the adakites of thickened lower crust melting. The necessary conditions to this rock genesis are satisfied if we consider the IXD crust to be deformed and thickened in the Transamazonian Cycle and latter thinned in the Orosirian. The data related to the I type magmatism with ages of 2.00 to 1.96 Ga suggest an extensive but brief event, with a minimum area of 190,000 km² and lifespan of 40 M.y. Extrapolating modern geodynamical conditions for subduction to the Paleoproterozoic, it is concluded that the space-temporal pattern of this magmatism cannot be uniquely explained by subduction process. Therefore, it is inferred that at least part of this magmatism should be generated in a convergent margin by other process than subduction or, alternatively, a post-orogenic event. The same reasoning can be adequately projected to the 100 M.y. younger calc-alkaline rocks of the third time interval (1.90–1.86 Ga). The Nd isotopic data for the studied rocks present moderately to highly negative $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$ values and siderian to mesoarchean Nd-T_{DM} model ages. The available data, presented in this work and from literature, reveal a heterogeneous crust, partly composed by a crust similar to the Carajás'. The neoarchean and siderian isotopic signatures could represent, in a non-mutually exclusive way: the presence of juvenile crustal segments; mixture of ancient archean crust and mantellic input (probably from Ryacian and/or Orosirian); or mixture of diverse crustal

components. This crust could be interpreted as paleo to mesoarchean preserved nuclei bordered by reworked crust that probably underwent juvenile inputs on Ryacian and/or Eo-Orosirian, besides presenting isolated blocks/segments of juvenile Neoproterozoic and Ryacian rocks. Concerning the IXD lithostratigraphy, we suggest the Iriiri Group to be composed by the Santa Rosa – acid A type volcanics - and Confresa – acid I type calc-alkaline volcanics – formations, both with crystallization ages within 1.90 and 1.86 Ga. We propose the 2.00 to 1.96 Ga calc-alkalic volcanic rocks, formerly related to the Iriiri Group, to be grouped in the Jarina Formation. We also recommend the adoption of the term Vila Rica Suite to refer the I type granites coeval to the Jarina Formation. We also endorse grouping the A type granites akin to the oxidized granites of Carajás in the Rio Dourado suite. In respect to the potentially tin-specialized reduced A type granites, we recommend this group of rocks to be assembled in the proposed São Pedro do Iriiri Suite.

Keywords: Iriiri-Xingu Domain; SE Amazonian craton; Orosirian; A and I-type granites; calc-alkaline granites;



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

PARECER

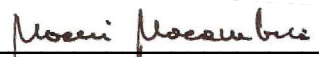
Sobre a Defesa Pública da Tese de Doutorado de DAVI DA COSTA BEZERRA GOBIRA DE ALCANTARA

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **DAVI DA COSTA BEZERRA GOBIRA DE ALCANTARA** orientando do Prof.Dr. Moacir José Buenano Macambira(UFPA), composta pelos professores doutores Lúcia Travassos da Rosa-Costa (CPRM), Miguel Angelo Stipp Basei (USP), Jean Michel Lafon (UFPA) e Claudio Nery Lamarão (UFPA), após apresentação da sua tese intitulada “GEOLOGIA, GEOQUÍMICA E ISÓTOPOS (U-Pb, Lu-Hf e Sm-Nd) DE GRANITOS OROSIRIANOS DO DOMÍNIO IRIRI-XINGU SETENTRIONAL, PROVÍNCIA AMAZÔNIA CENTRAL”, emite o seguinte parecer:


O candidato realizou sua apresentação de forma clara, bem organizada e segura. Na arguição mostrou domínio da temática abordada e respondeu às perguntas formuladas pela banca. O trabalho foi apresentado na forma tradicional e, apesar de ter alguns problemas de forma e estrutura na apresentação dos resultados e discussão, atende às exigências para uma tese de doutorado. A banca recomenda fortemente que a temática seja retomada na forma de artigos científicos, dada a importância geológica da área, para garantir maior alcance na divulgação da pesquisa.

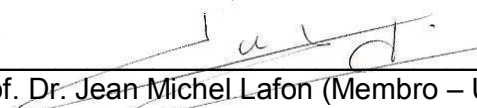
A banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado.

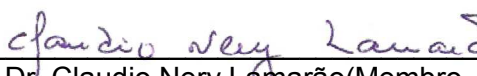
Belém, 29 de Março de 2023.


Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira (Orientador – UFPA)


Dr.^a Lúcia Travassos da Rosa-Costa (Membro – CPRM)


Prof. Dr. Miguel Angelo Stipp Basei (Membro – USP)


Prof. Dr. Jean Michel Lafon (Membro – UFPA)


Prof. Dr. Claudio Nery Lamarão (Membro – UFPA)