



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

TESE DE DOUTORADO Nº 172

**EVOLUÇÃO CRUSTAL DO SETOR SUL DA PROVÍNCIA
BORBOREMA: DOMÍNIO MACURURÉ, SISTEMA
OROGÊNICO SERGIPANO, NORDESTE DO BRASIL**

Tese apresentada por:

FÁBIO DOS SANTOS PEREIRA

Orientador: Prof. Dr. Jean Michel Lafon (UFPA)

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Maria de Lourdes da Silva-Rosa (UFS)

**BELÉM
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)

P436e Pereira, Fábio dos Santos.
Evolução crustal do setor Sul da Província Borborema : Domínio
Macururé, Sistema Orogênico Sergipano, Nordeste do Brasil / Fábio dos
Santos Pereira. — 2023.
xx, 239 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Jean Michel Lafon
Coorientação: Prof^a. Dra. Maria de Lourdes da Silva Rosa Tese
(Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica,
Belém, 2023.

1. Sistema Orogênico Sergipano. 2. Província Borborema.
3. Gondwana Ocidental. 4. Orogenia Brasileira. 5. Geocronologia. I. Título.

CDD 558.13



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

**EVOLUÇÃO CRUSTAL DO SETOR SUL DA PROVÍNCIA
BORBOREMA: DOMÍNIO MACURURÉ, SISTEMA
OROGÊNICO SERGIPANO, NORDESTE DO BRASIL**

Tese apresentada por

FÁBIO DOS SANTOS PEREIRA

**Como requisito parcial à obtenção de Grau de Doutor em Ciências na Área de GEOQUÍMIA E
PETROLOGIA e Linha de Pesquisa GEOCRONOLOGIA E GEOQUÍMICA ISOTÓPICA**

Data de Aprovação: 29 / 09 / 2023

Banca Examinadora:

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

Documento assinado digitalmente



IGNEZ DE PINHO GUIMARAES

Data: 02/10/2023 12:33:54-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dr. Ignez de Pinho Guimarães
(Membro – UFPE)

Prof. Dr. Valdecir de Assis Janasi
(Membro – USP)

Prof. Dr. Moacir José B. Macambira
(Membro – ITV)

Prof. Dr. Candido Augusto V. Moura
(Membro – UFPA)

Dedico este trabalho às duas mulheres que tornaram esse sonho possível. Célia Regina dos Santos e Maria de Lourdes da Silva Rosa, espero um dia poder retribuir tudo que vocês fizeram e fazem por mim.

AGRADECIMENTOS

Expresso meus mais sinceros agradecimentos a todas as pessoas e entidades que tornaram esse trabalho possível.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida (Processo 88887.356733/2019-00).

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), cujos financiamentos possibilitaram a obtenção da maior parte dos dados apresentados nesse volume (Processos 312393/2020-2, 42625/2018-7, 311023/2021-5, 310740/2021-5, 403797/2016-0)

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) da Universidade Federal do Pará (UFPA) pela infraestrutura disponibilizada para realização desse trabalho.

Ao Laboratório de Laminação da Faculdade de Geologia da UFPA, em nome dos técnicos e amigos Joelma Lobo e Bruno Veras, pelas incontáveis vezes em que precisei de um serviço às pressas e fui prontamente atendido com um sorriso no rosto e uma conversa gostosa.

Ao Laboratório de Geologia Isotópica (Pará-Iso) da UFPA pela infraestrutura laboratorial que possibilitou a aquisição dos dados isotópicos.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura da UFPA, em nome do Prof. Cláudio Lamarão e da técnica Gisele Marques.

Ao Laboratório de Análises Mineraias da Superintendência Regional de Belém do Serviço Geológico do Brasil (LAMIN/CPRM), especialmente a dedicada Jenny Ortega, pela captura de imagens em catodoluminescência de zircões detríticos.

Ao Condomínio de Laboratórios das Geociências da Universidade Federal de Sergipe (CLGeo/UFS) pela viabilização das análises geoquímicas de rocha total e imageamento por microscopia eletrônica de varredura.

A João Alberto Pinto, pelo suporte durante as análises U-Pb em titanita.

A Dra. Anelise Bertotti por ter facilitado os trabalhos de campo aos plútons Capela e Dores, bem como pela disponibilização das lâminas delgadas, análises geoquímicas e isotópicas desses corpos.

Aos professores Dr. João Marinho Milhomem Neto e Dr. Paulo Sergio de Sousa Gorayeb por todo aprendizado compartilhado durante o estágio supervisionado em petrologia metamórfica.

Aos meus mestres Dr. Jean-Michel Lafon, Dra. Maria de Lourdes da Silva Rosa e Dr. Herbet Conceição, exemplos de profissionalismo e dedicação à vida acadêmica, que sempre apoiaram meus projetos e não mediram esforços para torná-los realidade.

Aos amigos da sala 7 e agregados Bruna Karine Nogueira, Renata Veras, Luísa Barros, Renan Fernandes, Allan Lima, Mozaniel Santos, Yasmin Ferro, Camila Vilar e Ivan Barrera, por todo acolhimento, momentos de descontração e discussões geológicas regadas a café. Vocês foram imprescindíveis nessa jornada.

Aos programas sociais implementados durante os mandatos do Presidente Luiz Inácio Lula da Silva, por permitirem que o filho de um sapateiro com uma dona de casa se tornasse DOUTOR.

Muito obrigado a todos!

RESUMO

O Sistema Orogênico Sergipano (SOS), localizado no setor sul da Província Borborema, é parte de um extenso orógeno Brasileiro/Pan-Africano estruturado durante a amalgamação do supercontinente Gondwana, que se prolonga pela parte central da África até Camarões. Seis domínios compõem o SOS: Estância, Vaza Barris, Macururé, Marancó, Poço Redondo e Canindé. O Domínio Macururé estende-se por cerca de 350 km desde a costa de Sergipe até a cidade de Macururé na Bahia e compõe-se por uma sequência de quartzitos sobrepostos por um espesso pacote de filitos, xistos, metarritmitos e metagrauvacas, com intercalações de níveis de anfíbolitos e rochas calciossilicáticas. Essas rochas foram metamorfizadas em condições das fácies xisto verde a anfíbolito e intrudidas por abundantes granitos e rochas máficas. Nesse trabalho, novos dados geoquímicos, geocronológicos U-Pb (zircão e titanita) e isotópicos (Rb-Sr, Sm-Nd e Pb-Pb em rocha total e Lu-Hf em zircão) das principais unidades constituintes do Domínio Macururé permitiram refinar a estratigrafia local e avançar no entendimento sobre as fontes e processos envolvidos na geração das rochas magmáticas. Dados isotópicos U-Pb em zircões detríticos extraídos de quartzitos forneceram dois picos principais entre 1980-1950 e 1000-910 Ma, consistentes com a Orogenia Riacciana (2,2-1,9 Ga) e o evento Cariris Velhos (1,0-0,9 Ga). As idades paleoproterozoicas são similares aquelas observadas no embasamento da Província Borborema, que está representado na área de estudo pelo Domo Jirau do Ponciano e pelo Complexo Arapiraca. Valores negativos a positivos de $\epsilon\text{Hf}_{(t)}$ de -15,6 a +0,5 e idades modelo Hf- T_{DM}^C entre 2,5 e 3,5 Ga foram obtidos para os grãos dessa população, sugerindo extensivo retrabalhamento de crosta arqueana durante os períodos Riacciano-Orosiriano. Os grãos de idade cedo neoproterozoica mostram composição de Hf subcondrítica a supercondrítica com valores de $\epsilon\text{Hf}_{(t)}$ entre -12,3 e +7,7 e idades modelo crustais Hf- T_{DM}^C de 2,5 a 1,3 Ga, sugerindo adição de material juvenil e retrabalhamento de crostas preexistentes durante o evento Cariris Velhos. Contribuições menos abundantes do Mesoproterozoico (1120-1040 Ma) e Neoproterozoico tardio (880-740 Ma) sugerem que a deposição dos sedimentos do Domínio Macururé ocorreu antes da Orogenia Brasileira. Três grupos de rochas magmáticas puderam ser individualizados com base em aspectos de campo, petrográficos e geoquímicos. (i) As rochas plutônicas mais antigas da região são dioritos e gabros, com subordinada ocorrência de hornblenditos cumuláticos. Elas geralmente apresentam foliação tectônica bem desenvolvida, marcada pela orientação de plagioclásio, hornblenda e biotita, bem como evidências de deformação no estado sólido, o que sugere uma colocação em estágio pré- a cedo-colisional entre 643 e 628 Ma. Dados geoquímicos de elementos maiores e traços revelam uma natureza magnésiana e afinidade com as suítes cálcio-alcálicas de alto potássio e shoshoníticas. Os espectros de elementos terras raras (ETR) e multielementares mostram enriquecimento em

ETR leves e elementos litófilos de grande íon (LILE), com importantes anomalias negativas em Ti-Nb-Ta, que são tipicamente associadas a ambientes de subducção. Os dados isotópicos de rocha total indicam uma assinatura evoluída com razões subcondríticas de Nd ($\epsilon\text{Nd}_{(t)} = -2,0$ a $-5,2$) e radiogênicas de Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)} = 0,708-0,710$) e Pb ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18,50-19,18$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15,69-15,77$; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38,54-40,04$), implicando derivação a partir de uma fonte mantélica enriquecida. As elevadas razões $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ e Rb/Sr em associação com as baixas razões Sr/Th e Ba/Rb sugerem que o enriquecimento da fonte mantélica ocorreu em resposta a introdução de sedimentos através de processos de subducção, levando a formação de flogopita como principal fase metassomática. Idades modelo Hf- T_{DM}^{C} entre 2,47 e 2,09 Ga sugerem que o enriquecimento do manto litosférico abaixo da Província Borborema Sul ocorreu durante os eventos acrescionários da Orogenia Riacciana. A incorporação de sedimentos pelos peridotitos mantélicos provocou aumento das razões elementares Rb/Sr e (U-Th)/Pb, e diminuição das razões Sm/Nd e Lu/Hf, resultando na assinatura crustal das rochas máficas. (ii) Granodioritos, monzogranitos e sienogranitos leucocráticos com biotita e muscovita ocorrem como *stocks* e *sheets*. Essas rochas exibem foliação magmática definida pela orientação de micas e enclaves surmicáceos, que é paralela à xistosidade das encaixantes, sugerindo colocação sincrônica ao evento colisional entre 630 e 624 Ma. Os leucogranitos são metaluminosos a fortemente peraluminosos, de natureza cálcio-alcálica de alto potássio e assinatura magnésiana a ferrosa. Os valores de $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$ e idades modelo Nd- T_{DM} sobrepõem aos das rochas encaixantes, sugerindo derivação a partir de protólitos predominantemente sedimentares. (iii) Monzonitos, quartzo-monzonitos, granodioritos e granitos constituem o grupo magmático mais jovem, que apresenta idades de cristalização entre 625 e 603 Ma. Essas rochas são majoritariamente isotrópicas e cortam a foliação regional, indicando uma colocação tardia em relação ao evento colisional. O caráter metaluminoso, magnésiano, filiação cálcio-alcálica de alto potássio e shoshonítica são similares as composições de líquidos obtidos em experimentos de fusão de protólitos basálticos moderadamente enriquecidos em elementos incompatíveis. Dados isotópicos Lu-Hf fornecem valores de $\epsilon\text{Hf}_{(t)}$ entre -8,3 a -4,0 e idades modelo Hf- T_{DM}^{C} oscilando de 1,77 a 2,03 Ga, indicando retrabalhamento de crosta continental antiga, possivelmente relacionada ao evento Cariris Velhos. A integração dos dados geoquímicos e isotópicos com aqueles disponíveis na literatura permite inferir que a evolução geodinâmica neoproterozoica do SOS ao longo da margem ocidental do Gondwana pode ser explicada por uma extensão litosférica do embasamento da Província Borborema, seguido por inversão da bacia e colisão continental.

Palavras-chave: Orogenia Brasileira/Pan-Africana, Gondwana Ocidental, Província Borborema

ABSTRACT

The Sergipano Orogenic System (SOS), located in the southern Borborema Province, is part of a large Brasiliano/Pan-African orogen structured during the Gondwana supercontinent assembly, which spread out to central Africa up to Cameroon. Six domains compose the SOS, namely Estância, Vaza Barris, Macururé, Marancó, Poço Redondo, and Canindé. The Macururé Domain stretches 350 km from the Sergipe coast to Macururé City, Bahia state. It consists of a succession of quartzites overlaying by a thick package of phyllites, schists, metarhytmities, and metagraywacke, with intercalations of amphibolite and calc-silicate rocks. The rocks were metamorphosed under greenschist-amphibolite facies and intruded by numerous late Cryogenian-Ediacaran granites and mafic plutons. In this work, new geochemical, U-Pb geochronological (zircon and titanite), and isotopic (whole-rock Rb-Sr, Sm-Nd, and Pb-Pb and in situ zircon Lu-Hf) results from the main units composing the Macururé Domain allowed to refine the local stratigraphy and improve the comprehension about sources and processes involved in the generation of the magmatic rocks. U-Pb isotope analyses on detrital zircon from quartzites yielded two main peaks in the ranges of 1980-1950 Ma and 1000-910 Ma, consistent with the Rhyacian Orogeny (2.2-1.9 Ga) e Cariris Velhos event (1.0-0.9 Ga). Paleoproterozoic dates overlap those observed in the Província Borborema basement, represented in the study area by the Jirau do Ponciano Dome and Arapiraca Complex. Negative to slightly positive $\epsilon\text{Hf}(t)$ values between -15.6 and +0.5 and $\text{Hf-T}_{\text{DM}}^{\text{C}}$ model ages from 2.5 to 3.5 Ga characterize this population, suggesting extensive reworking of the Archean crust during the Rhyacian-Orosirian periods. Early Neoproterozoic zircon grains display sub- to superchondritic Hf isotope composition (-12.3 to +7.7) and $\text{Hf-T}_{\text{DM}}^{\text{C}}$ model ages from 2.5 to 1.3 Ga, implying the addition of juvenile material and reworking of preexistent crusts during the Cariris Velhos event. Less abundant Mesoproterozoic (1120-1040 Ma) and late Neoproterozoic (880-740 Ma) zircon populations suggest that the sediment deposition took place before the Brasiliano Orogeny. The groups of magmatic rocks were individualized based on field, petrographic, and geochemical features. (i) The oldest plutonic rocks in the area are diorites and gabbros, with minor cumulate hornblendites. They generally show evidence of solid-state deformation and well-developed tectonic foliation, defined by the plagioclase, hornblende, and biotite orientations. These features point to emplacement in a pre- to early-collisional stage between 643 and 628 Ma. Geochemical data reveal a magnesian nature and affinities with the high-K calc-alkaline and shoshonite magmatic series. REE and multielement spectra exhibit enrichment in light REE and large ion lithophile elements, with deep troughs at Ti-Nb-Ta, typically interpreted as a

subduction setting signature. Whole-rock isotope data indicate an evolved signature with subchondritic Nd ($\epsilon\text{Nd}_{(t)} = -2.0$ a -5.2) e radiogenic Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)} = 0.708-0.710$), and Pb ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18.50-19.18$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.69-15.77$; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.54-40.04$), indicating derivation from an enriched mantle source. High $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$ and Rb/Sr ratios, together with low Sr/Th and Ba/Rb ratios, suggest that the enrichment episode occurred in response to the introduction of sedimentary components in the mantle via subduction processes, leading to the formation of phlogopite as the main metasomatic phase. Hf- T_{DM}^{C} model ages between 2.47 and 2.09 Ga suggest that the enrichment of the lithospheric mantle beneath the southern Borborema Province occurred during the accretionary events of the Rhyacian Orogeny. Incorporating sediments by the mantle peridotites may have led to increasing Rb/Sr, (U-Th)/Pb coupled with decreasing Sm/Nd and Lu/Hf ratios, which resulted in the time-integrated crustal signature observed in the mafic rocks. (ii) Biotite- and muscovite-bearing leucocratic granodiorites, monzogranites, and syenogranites outcrop as stocks and sheets. They show magmatic foliation marked by the orientation of micas and surmicaceous enclaves, parallel to the schistosity of country rocks, indicating synchronous emplacement to the collisional event between 630 and 624 Ma. Leucogranites are metaluminous to strongly peraluminous, high-K calc-alkaline, and magnesian to ferroan. $\epsilon\text{Nd}_{(t)}$ values and Nd- T_{DM} model ages overlap those of their host rocks, suggesting derivation from mostly sedimentary protholiths. (iii) The younger group consists of monzonites, quartz-monzonites, granodiorites, and granites, with crystallization ages from 625 to 603 Ma. They are predominantly isotropic and truncate the regional foliation of the country rocks, indicating a late emplacement relative to the collisional event. The metaluminous and magnesian signatures, with high-K calc-alkaline and shoshonite affiliations, resemble the composition of experimental liquids obtained by partial melting of basalt protoliths moderately enriched in incompatible elements. Lu-Hf isotope data provided subchondritic $\epsilon\text{Hf}_{(t)}$ values between -8.3 and 4.0 with Hf- T_{DM}^{C} model ages from 1.77 to 2.03, indicating the reworking of ancient continental crust, possibly related to the Cariris Velhos event. The geochemical and isotopic data of this study, together with those available in the literature allows us to infer that the Neoproterozoic geodynamic evolution of the SOS along the western Gondwana margin can be explained by a lithospheric extension of the Borborema Province basement, followed by basin inversion, and continental collision.

Keywords: Brasiliano/Pan-African Orogeny, Western Gondwana, Borborema Province.