



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

TESE DE DOUTORADO Nº 163

**GEOCRONOLOGIA DA CAPA CARBONÁTICA E PROVENIÊNCIA DO INTERVALO
EDIACARANO SUPERIOR-CAMBRIANO DA BACIA ARARAS-ALTO PARAGUAI,
SUL DO CRATON AMAZÔNICO**

Tese apresentada por:

DAVI FERREIRA DE CARVALHO

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

Coorientador: Prof. Dr. Afonso Cesar R. Nogueira (UFPA)

**BELÉM- PARÁ
2022**

**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)**

F383g Ferreira de Carvalho, Davi.
Geocronologia da capa carbonática e proveniência do intervalo Ediacarano Superior-Cambriano da bacia Araras-Alto Paraguai, sul do cráton Amazônico / Davi Ferreira de Carvalho. — 2022.
107 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Moacir José Buenano Macambira
Coorientador(a): Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira
Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2022.

1. Geocronologia U-Pb. 2. Geologia isotópica do C e Sr. 3. Ediacarano-Cambriano. 4. Bacia Araras-Alto Paraguai. 5. sul do cráton Amazônico. I. Título.

CDD 551.701



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

**GEOCRONOLOGIA DA CAPA CARBONÁTICA E PROVENIÊNCIA DO INTERVALO
EDIACARANO SUPERIOR-CAMBRIANO DA BACIA ARARAS-ALTO PARAGUAI,
SUL DO CRATON AMAZÔNICO**

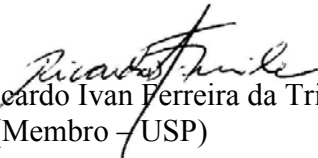
TESE APRESENTADA POR:
DAVI FERREIRA DE CARVALHO


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

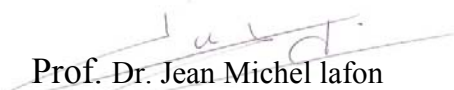
Data de Aprovação: 21 / 06 / 2022


Banca examinadora:


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


Prof. Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade
(Membro – USP)


Prof. Dr. Claudio Riccomini
(Membro – IG/USP)


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


Prof. Dr. Joelson Lima Soares
(Membro – UFPA)

Ao meu amado sobrinho Vitor Carvalho do Nascimento

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais pelo apoio incondicional.

Aos professores Afonso Nogueira e Moacir Macambira pelo apoio e orientações.

Aos professores Egberto Pereira e Cristiano Lana pelas valiosas parcerias nas análises isotópicas.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq - 144135/2018-3 e CAPES (código de financiamento - 001) pela concessão das bolsas de estudos.

Ao Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará pela infraestrutura.

Ao Professor José Bandeira pelo apoio na excursão de campo.

Ao colega Renan Fernandes dos Santos pelo apoio e discussões ao longo de todo trabalho.

Aos colegas Hudson Santos e Pedro da Silva pelo apoio na obtenção de imagens de catodoluminescência.

Ao professor João Milhomem Neto, pelo apoio nas análises, processamento de dados de geocronologia.

À Joelma Lobo e equipe da Oficina de Laminação do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará. O empenho dessas pessoas foi fundamental para realização do trabalho.

À Cleida Freitas, da secretaria do Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, pelo apoio nas questões burocráticas durante o curso.

Ao professor Claudio Lamarão, à Msc. Gisele Tavares Marques e à Ana Paula Corrêa do Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, pelo apoio na obtenção de imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

Ao Laboratório de Geologia Isotópica da Universidade Federal do Pará pela infraestrutura para realização das análises geocronológicas.

*O registro sedimentar é mais lacuna do que registro
(Derek Victor Ager)*

RESUMO

A Bacia Araras-Alto Paraguai, no sul Cráton Amazônico, inclui depósitos do Criogeniano, Ediacarano e Cambriano relacionados aos eventos glaciais (ca. 635 Ma) e pós-glaciais (635-600 Ma) Marinoanos e aos estágios iniciais de Gondwana Ocidental. Diamictitos glaciais da Formação Puga são diretamente recobertos pela capa carbonática Neoproterozoica da base do Grupo Araras, relacionada à rápida transição *icehouse-greenhouse* no contexto da teoria da Terra “Bola de Neve” (*Snowball Earth*). O Grupo Araras é recoberto discordantemente pelos depósitos siliciclásticos cambrianos da Formação Raizama, base do Grupo Alto Paraguai. A sucessão é balizada por idades máximas de deposição U-Pb em zircão detrítico de $< 652 \pm 5$ Ma (embasamento - Grupo Cuiabá) e $< 528 \pm 9$ Ma (topo do Grupo Alto Paraguai). Idades Pb-Pb em carbonatos de 627 ± 32 Ma e 622 ± 33 Ma e excursões negativas de $\delta^{13}\text{C}$ na capa carbonática são coerentes com essas estimativas de tempo. A correlação dos dados isotópicos da Bacia Araras-Alto Paraguai com curvas de $\delta^{13}\text{C}$ e $^{87}\text{Sr}/^{88}\text{Sr}$ globais indica idade de ca. 614 Ma para o topo erodido do Grupo Araras. A presença de *skolithos* na base do Grupo Alto Paraguai confirma a idade cambriana (< 530 Ma) conferindo um hiato entre esses grupos de ca. 80×10^6 anos. Os dados disponíveis ainda são escassos e apenas permitem estimativas de tempo muito amplas que dificultam o sequenciamento dos eventos geológicos. Novos dados isotópicos de $\delta^{13}\text{C}$ com a típica assinatura negativa de capa carbonática, com valores oscilando entre -7 e -4 ‰ complementaram aqueles disponíveis para a sucessão, ampliando as correlações estratigráficas na plataforma interna do Grupo Araras. A geocronologia de U-Pb via LA-ICP-MS em leques de calcita, interpretados como pseudomorfo de aragonita, forneceu a primeira idade diagenética de 624 ± 6 Ma da capa carbonática. Relações texturais e sinal isotópico mais pesado nos leques ($\delta^{13}\text{C} = -6,80$ a $-5,85$, $\delta^{18}\text{O} = -7,0$ a $-5,80$) em relação ao micrito ($\delta^{13}\text{C} = -7,25$ a $-5,85$, $\delta^{18}\text{O} = -8,9$ a $-7,5$), indicam dissolução-reprecipitação sob influência de fluidos oxidantes no ambiente diagenético. Tal mudança na composição dos fluidos diagenéticos pode estar relacionada à queda do nível do mar durante a deposição do trato de sistema de mar alto da sequência de capa carbonática. A idade diagenética demonstra que os processos deposicionais e diagenéticos da capa calcárea, incluindo a precipitação da micrita e pirita, inversão da aragonita para calcita, neomorfismo de soterramento, compactação química e dissolução-reprecipitação de calcita dentro dos leques levou ca. $11 \pm 6 \times 10^6$ anos. Embora um similar espectro de idades dos zircões detríticos indique a mesma fonte cratônica para a sucessão estudada, há uma maior proporção geral de idades maiores que 1,25 Ga para o topo do Grupo Araras em relação a base do Grupo Alto Paraguai. Este resultado corrobora o hiato

erosivo entre os grupos e indica um aumento relativo de fontes de SW-SE (<1,25 Ga, Faixa Sunsás) em detrimento de fontes a N-NW (>1,25 Ga, outros terrenos do cráton Amazônico) na transição do Ediacarano para o Cambriano. Por outro lado, no domínio cratônico, somente zircões com idades mais antigas que 1,38 Ga para a base do Grupo Alto Paraguai e paleocorrentes persistentemente para SE, sugere intensificação do influxo siliciclástico a partir de NNW. A integração de dados sedimentológicos, quimioestratigráficos, geocronológicos e tectônicos permitiram estabelecer cinco etapas para a o sucessão Ediacarana-Cambriana da Bacia Araras-Alto Paraguai: 1) Transgressão deglaciação e deposição da capa dolomítica (*ca.* 635-632 Ma); 2) Expansão termal do oceano e deposição da capa calcária e trato de sistemas de mar alto da sequência de capa carbonática (*ca.* 632-615 Ma); 3) Regressão com intensificação do influxo siliciclástico, transferência do espaço de acomodação para leste seguido de supressão da produtividade carbonática (*ca.* 615-600 Ma); 4) exposição e erosão do cráton Amazônico meridional por dezenas de milhões de anos (*ca.* 600-530 Ma); 5) elevação do nível do mar com implantação da plataforma siliciclástica (*ca.* 530-520 Ma). A integração de dados e informações geológicas prévios e atuais permitiram uma melhor caracterização estratigráfica da sedimentação Araras-Alto Paraguai exposta no sul do Cráton Amazônico revelando uma parte importante da evolução geológica dos mares epicontinentais primordiais ligados a formação do Gondwana oeste.

Palavras-chave: Geocronologia U-Pb; Geologia isotópica do C e Sr, Ediacarano-Cambriano; Bacia Araras-Alto Paraguai; Sul do cráton Amazônico.

ABSTRACT

The Araras-Alto Paraguai basin, on the Southern Amazonian craton includes Cryogenian-Ediacaran-Cambrian deposits related to the Marinoan glacial (*ca.* 635 Ma) and post-glacial events (*ca.* 635-600 Ma) and initial stages of Western Gondwana. The glaciogene diamictites of the Puga Formation are directly overlaid by the Neoproterozoic cap carbonate of the lower Araras Group, evidencing the rapid icehouse-greenhouse transition in the context of the Snowball Earth theory. The Araras Group is unconformably superimposed by the Cambrian siliciclastics of the Raizama Formation, lower Alto Paraguai Group. The succession is bounded by U-Pb maximum depositional ages of $< 652 \pm 5$ Ma (basement - Cuiaba Group) and $< 528 \pm 9$ Ma (upper Alto Paraguai Group). Carbonate Pb-Pb ages of 627 ± 32 Ma and 622 ± 33 and $\delta^{13}\text{C}$ negative excursions in the cap carbonate are coherent with these time estimates. Correlation of the isotopic data of the Araras-Alto Paraguai basin with $\delta^{13}\text{C}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ global curves indicates an age of *ca.* 614 Ma for the eroded upper limit of the Araras Group. The presence of *skolithos* at the base of the Alto Paraguai Group confirms the Cambrian age (< 530 Ma), implying a stratigraphic gap of *ca.* 80×10^6 yr between the groups. The available data are still sparse, allowing only imprecise timing of the geologic events in the succession. New $\delta^{13}\text{C}$ isotopic data with the typical cap carbonate negative signature, with values oscillating between -7 and -4 ‰ complemented the $\delta^{13}\text{C}$ curves available for the succession, extending stratigraphic correlations over the inner platform of the Araras Group. The LA-ICP-MS U-Pb dating of calcite crystal fans, interpreted as aragonite pseudomorphs, provided the first diagenetic age of 624 ± 6 Ma of the cap carbonate. Textural relations and heavier isotopic signal in the fans ($\delta^{13}\text{C} = -6.80$ a -5.85 , $\delta^{18}\text{O} = -7.0$ a -5.80) compared to the micrite ($\delta^{13}\text{C} = -7.25$ a -5.85 , $\delta^{18}\text{O} = -8.9$ a -7.5), indicates dissolution-precipitation under the influence of oxidizing fluids in the diagenetic environment. Such a change in the composition of the diagenetic fluids may be related to the sea level fall during deposition of the highstand system tract of the cap carbonate sequence. The diagenetic age demonstrates that the depositional and diagenetic processes of the cap limestone, including micrite and pyrite precipitation, inversion of aragonite to calcite, burial neomorphism, chemical compaction and calcite dissolution-precipitation within the crystal fans lasted *ca.* $11 \pm 6 \times 10^6$ yr. Although a similar spectrum of detrital zircon ages indicates the same cratonic source areas for the studied succession, there is a general higher proportion of ages older than 1.25 Ga for the upper Araras Group compared to the lower Alto Paraguai Group. This result corroborates the erosive hiatus between the groups, indicating a relative increase of sources from the SW-SE (< 1.25 Ga, Sunsás belt) in detriment of sources to the N-NW (> 1.25

Ga, other terrains of the Amazonian craton) of the basin during the Ediacaran-Cambrian transition. On the other hand, in the cratonic domain, absence of ages younger than 1.38 Ga and paleocurrents persistently to SE for the lower Alto Paraguai Group suggest intensification of the siliciclastic influxes from the NNW. Integration of the sedimentological, chemostratigraphic, geochronological and tectonic data allowed to propose five evolutionary steps for the Ediacaran-Cambrian succession of the Araras-Alto Paraguai Basin: 1) Ice melting with deposition of the cap dolostone (635-632 Ma); 2) Thermal expansion of the ocean with deposition of the cap limestone and highstand system tract of the cap carbonate sequence (ca. 632-615 Ma); 3) Regression with transference of accommodation space to the East (ca. 615-600 Ma); 4) Complete exposition of Southern Amazonian craton (600 – 530 Ma); and 5) Sea level rise with implantation of a siliciclastic platform (ca. 530-520 Ma). The obtained geochronological and chemostratigraphic data allowed a better stratigraphic characterization of the Araras-Alto Paraguai sedimentation exposed in the southern Amazonian craton, revealing an important part of the geological evolution of the primordial epicontinental seas related to western Gondwana assembly.

Keywords: U-Pb geochronology; C and Sr isotopic geology; Ediacaran-Cambrian; Araras-Alto Paraguai basin; Southern Amazonian craton.



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 FERREIRA DE CARVALHO

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **DAVI FERREIRA DE CARVALHO** orientando do Prof. Dr. **Moacir José Buenano Macambira (UFPA)**, composta pelos professores doutores **Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (USP)**, **Claudio Riccomini (USP)**, **Jean Michel Lafon (UFPA)**, e **Joelson Lima Soares (UFPA)**, após apresentação da sua tese intitulada “**GEOCRONOLOGIA DA CAPA CARBONÁTICA E PROVENIÊNCIA DO INTERVALO EDIACARANO SUPERIOR-CAMBRIANO DA BACIA ARARAS-ALTO PARAGUAI, SUL DO CRATON AMAZÔNICO**”, emite o seguinte parecer:

O candidato realizou sua apresentação de forma clara, bem organizada e segura no tempo estipulado. Na arguição mostrou domínio da temática abordada e respondeu às perguntas formuladas pela banca. O texto compreende uma parte introdutória, seguido de dois artigos, e uma parte final de discussão e conclusões. Os artigos abordam temas de relevância internacional, destacando-se o primeiro referente à datação da diagênese de aragonita constituinte dos leques que são comuns em sucessões carbonáticas dessa idade. O tema escolhido configura investigação inédita, com excelente potencial de divulgação internacional.

Dessa forma, o candidato preenche todos os requisitos para o título de doutor, razão pela qual a banca examinadora decidiu por unanimidade pela sua aprovação.

Belém, 21 de junho de 2022.

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

Prof. Dr. Ricardo Ivan Ferreira da Trindade (Membro-USP)

Prof. Dr. Claudio Riccomini (Membro-USP)

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

Prof. Dr. Joelson Lima Soares (Membro-UFPA)