



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

TESE DE DOUTORADO Nº 133

**O CAMBRIANO NO SUDESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO:
PALEOAMBIENTE, PROVENIÊNCIA E IMPLICAÇÕES
EVOLUTIVAS PARA O GONDWANA OESTE**

Tese apresentada por:

HUDSON PEREIRA SANTOS

Orientador: Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira

BELÉM-PA

2018

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

Santos, Hudson Pereira, 1986-

O Cambriano no Sudoeste do Cráton Amazônico : paleoambiente, proveniência e implicações evolutivas para o Gondwana Oeste / Hudson Pereira Santos. – 2018.

xxv, 121 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira

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

1. Geologia estratigráfica - Cambriano. 2. Cráton Amazônico. 3. Bacia Intracratônica Invertida. 4. Grupo Alto Paraguai. 5. Estratigrafia de seqüências. I. Título.

CDD 22. ed. 551.723

Elaborada por
Maria do Socorro Barbosa Albuquerque
CRB-2/ 871



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



**O CAMBRIANO NO SUDESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO:
PALEOÁMBIENTE, PROVENIÊNCIA E IMPLICAÇÕES
EVOLUTIVAS PARA O GONDWANA OESTE**

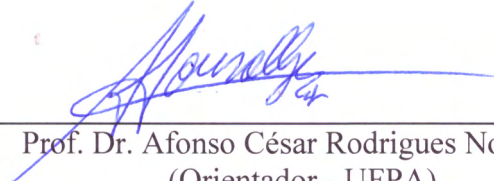
TESE APRESENTADA POR:

HUDSON PEREIRA SANTOS


Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na área de
GEOLOGIA

Data da Aprovação: 15 / 06 / 2018


Banca Examinadora:



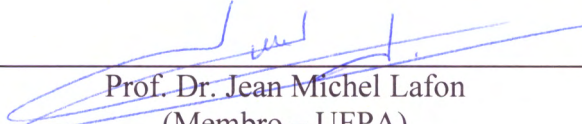
Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira
(Orientador - UFPA)



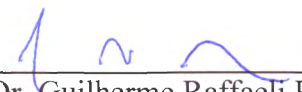
Prof. Dr.ª Lucieth Cruz Vieira
(Membro - UNB)



Prof. Dr. Eric Tohver
(Membro - USP)



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



Prof. Dr. Guilherme Raffaelli Romero
(Membro - UFPA)

*Aos meus amados pais
À minha doce Darlene
Em memória de Maria Davina dos Santos*

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor da sabedoria e do conhecimento, por sua infinita bondade e misericórdia.

Aos meus pais, por durante anos investirem na minha educação, pelos valores a mim ensinados, pelo amor dispensado, por sempre estarem presentes mesmo em meio as minhas ausências, principalmente no final deste trabalho, e por sempre orarem por mim. Amo muito vocês!. Ao meu irmão e cunhada, e a minha querida sobrinha Ana Mei, a qual foi essencial com um simples abraço.

À minha querida esposa Darlene, que em meio aos estresses e tensões sempre teve paciência e as palavras certas, e claro, aquele “copo d’água”. Muito obrigado, por sempre estar comigo e realmente ser tão valorosa. Te amo!

As minhas famílias Santos, Peres, Pereira, e Powell, por sempre entenderem as ausências nas reuniões, pelas palavras de incentivo e orações ao longo dessa jornada.

Ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da Universidade Federal do Pará, pela infraestrutura e apoio financeiro em várias ocasiões.

Ao CNPq e Capes pela concessão da bolsa de estudo.

Ao INCT-GEOCIAM (CNPq/MCT/ FAPESPA-573733/2008-2) pelo financiamento das campanhas de campo para a Faixa Paraguai Norte.

Ao Prof. Dr. Afonso Nogueira pela confiança durante esses 9 anos de orientação, discussões científicas, e dicas para o meu crescimento científico e profissional.

Ao Prof. Dr. José Bandeira, pelas discussões e auxílio em campos na Faixa Paraguai Norte.

Ao Prof. Dr. Joelson Soares, por me apresentar ao “mundo” dos icnofósseis e pelos vários momentos de proveitosas discussões sobre o assunto e incentivo.

To Dr. Maria Gabriela Mangano, for accepting the challenge of lapidating my 'knowledge' about trace fossil and for the various corrections of the manuscript.

Ao Prof. Dr. Elton Dantas e ao técnico Érico Zacchi pela disposição e auxílio nas análises U-Pb em zircão detrítico no Laboratório de Estudos Geocronológicos, Geodinâmicos e Ambientais da Universidade de Brasília (UnB)

Ao Laboratório de Microanálises do Instituto de Geociência da Universidade Federal do Pará, nas pessoas do Prof. Dr. Cláudio Nery Lamarão, Msc. Gisele Tavares Marques, e a Ana Paula Corrêa pela disposição e auxílio na obtenção de imagens no Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV).

À Joelma Lobo e equipe do Laboratório de Laminação da UFPA pela confecção das lâminas, sempre prontos a atender.

Aos geólogos, futuros mestres, Alexandre Castelo, Alexandre Ribeiro e Mateus Xavier, pela ajuda em discussões, descrição de lâminas, e auxílio na confecção de mapas e figuras.

Aos amigos Dr^a Kamilla Borges, Dr. Francisco Abrantes Jr, Dr. Isaac Daniel Rudnitzki, Msc. John Afonso, e Msc. Isaac Salém, os quais tive a honra de conviver, em meio a discussões geológicas e momentos de descontração.

Aos queridos companheiros de GSED: Renato Sol, Pedro Augusto, Cleber Eduardo, Luís Saturnino, Walmir, Lucas Chelsea, pelas conversas construtivas e momentos de descontração.

Aos meus irmãos, Rafaela e Marquinhos, pelo constante apoio e torcida...amigos mais chegados que irmão.

A minha família da rodagem, Junior Menezes & Yael, Ricardo & Ludmila, Fabi & Sebastian, e Buck, por sempre estarem comigo durante longos anos dessa jornada acadêmica.

Aos amigos da banda Cabal, Dotty, Toco, e Davi, pelos momentos de *relax* através da música e edificantes conversas.

Enfim, a todos que de qualquer forma colaboraram para a realização deste trabalho. Meu muito obrigado!.

*O temor do Senhor é o princípio
da sabedoria, e o conhecimento do
santo é prudência*

(Provérbios 9:10)

RESUMO

Eventos transgressivos registrados em diversas regiões cratônicas marcaram o período Cambriano, hipoteticamente relacionado à glacioeustasia e/ou progressiva abertura do Oceano Iapetus (~600 Ma). Tais eventos influenciaram na paleoceanografia deste período, incluindo a progressiva evolução da biota - a 'Revolução Cambriana'. Embora as margens do Supercontinente Gondwana, inteiramente amalgamado no Cambriano Inferior (540 Ma), estivessem inundadas, o interior desse supercontinente permanecia emergente provavelmente impulsionado soerguimento pós-colisionais epirogenéticos. Mares epíricos cobriam áreas subsidentes com projeções para o interior do Gondwana Oeste, desenvolvendo plataformas rasas que recobriram áreas de antigas suturas colisionais. No sudoeste do Cráton Amazônico, a recorrência de ambientes plataformais vem desde o Criogeniano Superior (~635 Ma) até o Cambriano, com a instalação de depósitos glaciais, sobrepostos por sucessões carbonáticas e siliciclásticas. Apesar de previamente inseridos no contexto de uma bacia tipo *foreland* relacionada à evolução da Faixa Paraguai Norte (650-640 Ma), estes depósitos tem sido incluídos em uma bacia intracratônica invertida no Ordoviciano. Os depósitos da base das sequências cambrianas desta bacia, aqui estudados, são compreendidos predominantemente por rochas siliciclásticas. Estes consistem nos membros Superior e Inferior da Formação Raizama e na base do Membro Inferior da Formação Sepotuba, Grupo Alto Paraguai, expostos nas porções central e nordeste da bacia intracratônica invertida, estado do Mato Grosso. Duas sequências deposicionais (SD1 e SD2) caracterizam as sucessões cambrianas da base do Grupo Alto Paraguai. A SD1 apresenta como limite de sequência (LS1) um hiato erosional previamente interpretado no sudoeste da bacia, passando a uma conformidade correlativa nas porções central e nordeste onde recobrem os carbonatos Araras e os depósitos glaciais criogenianos Puga. O LS1 representa um período de erosão ou não-deposição de aproximadamente 80 Ma desenvolvido sobre os carbonatos do Ediacarano Inferior do Grupo Araras, relacionados a soerguimentos epirogênicos da bacia. Uma segunda fase de subsidência térmica teria levado a instalação da plataforma siliciclástica no Cambriano, caracterizada pela SD1 caracterizada por duas associações de fácies denominadas AF1 e AF2. A AF1 consiste em camadas de subarcóseos ou grauvas quartzosas intercalados por camadas de pelitos dominados por processos de onda e tempestade, inseridos nas zonas de *offshore-transition*, *lower-middle shoreface* e *upper shoreface*. A presença de traços fósseis verticais infaunais pertencentes do à Icnofácies *Skolithos* (*Skolithos linearis*; *Diplocraterion parallelum*; e *Arenicolites* isp.) na base dos depósitos de *lower-middle shoreface* indicaram

uma idade Cambriana Inferior, ou mais jovem, para a Formação Raizama, anteriormente considerada como ediacarana. A AF2 compreende camadas de subarcóseos, quartzo-arenitos, sublitoarenitos, grauvacas quartzosas, intercaladas por camadas de pelito e/ou arenitos muito fina/pelito interpretados como depósitos de planície de maré complexa, sobrepostos em discordância (LS2) pelos depósitos fluviais de canais entrelaçados (AF3) pertencentes a SD2. A SD1 teria sido depositada durante um trato de sistemas de mar baixo a transgressivo, organizados em parassequências com tendências progracionais. Esse padrão de empilhamento não seria compatível com a estratigrafia de sequências tradicional para um TST, atribuído a uma lenta taxa de subsidência concomitante com uma alta taxa de sedimentação indicada pela Icnofácies *Skolithos*. Posteriormente, uma queda menos expressiva do nível do mar promoveu a progradação dos depósitos fluviais entrelaçados distais (AF3) sobre a SD1, relacionados a um trato de sistemas de mar baixo (TSMB) caracterizado pela abrupta mudança dos depósitos heterolíticos de maré para os quartzo-arenitos médios a grossos dos depósitos fluviais. Direções de paleofluxo preferencialmente para NE e SE obtidas em formas de leito costeiras da AF2 e AF3 aliada a idades Paleo- a Mesoproterozoicas por U-Pb em zircão detrítico tem indicado proveniência exclusivamente de áreas fontes a SW e NW do Cráton Amazônico. Além disso, a análise de grãos de quartzo detríticos dos arenitos da base dos depósitos cambrianos indica que estas fontes seriam principalmente ígneas e metamórficas. Trabalhos prévios indicam que os depósitos fluviais da SD2 foram sucedidos por um trato de sistema transgressivo, marcando o último evento transgressivo que influenciaram os depósitos cambrianos da bacia intracratônica. Paulatinamente, a conexão oceânica foi interrompida em consequência do fechamento do Oceano Iapetus (~500 Ma) em consonância com soerguimentos da bacia. Dessa forma, os mares epíricos cambrianos foram confinados e consequentemente dando início de uma fase lacustre da bacia no Ordoviciano, representado pelos depósitos da Formação Diamantino. Posteriormente, a bacia intracratônica do sudeste do Cráton Amazônico teria sido invertida pela tectônica transtensional que propiciou a implantação das bacias intracontinentais pós-cambrianas do Oeste Gondwana.

Palavras-chave: Cambriano. Cráton Amazônico. Bacia Intracratônica Invertida. Grupo Alto Paraguai. Sequência Estratigráfica.

ABSTRACT

Transgressive events recorded in many cratonic regions marked the Cambrian period, hypothetically related to the glacioeustasy and/or the progressive opening of the Iapetus ocean (~600 Ma). Such events influenced the paleoceanography of this period, including the progressive biota evolution – the ‘Cambrian Revolution’. Although the Gondwana Supercontinent margins, entirely amalgamated in the Lower Cambrian (540 Ma), were flooded, the inner part of this supercontinent was emergent, probably triggered by post-collisional epirogenic uplifts. Epeiric seas covered subsiding areas with projections towards the interior of the Western Gondwana, developing shallow platforms that covered ancient collisional suture zones. In the southwestern Amazon Craton, the recurrence of platform environments dates from Upper Cryogenian (~635 Ma) until the Cambrian with the installation of glacial deposits, overlaid by carbonatic and siliciclastic successions. Despite the previous insertion in the context of a foreland type basin related to the evolution of North Paraguai Belt (650-640 Ma), these deposits have been included in an inverted intracratonic basin in the Ordovician. The bottommost deposits of the Cambrian sequences, here presented, are comprised dominantly by siliciclastic rocks. These consist in the Upper and Lower members of the Raizama Formation and the base of Lower Member of the Sepotuba Formation, Alto Paraguai Group, exposed in the central and northeast portions of the inverted intracratonic basin, Mato Grosso state. Two depositional sequences (DS1 and DS2) characterize the Cambrian successions of the base of Alto Paraguai Group. The DS1 presents as a sequence boundary (SB1) an erosional hiatus previously interpreted in the southwestern basin. This stratigraphic surface becomes a correlative conformity towards the central and northern portions, where this covers the Araras carbonates and Cryogenian glacial deposits from Puga diamictites. The SB1 represents an erosional or non-depositional period of approximately 80 Ma developed over the carbonates of the Lower Ediacaran Araras Group, related to the epirogenic uplifts of the basin. A second thermal subsidence phase would have led to the installation of a siliciclastic platform during the Cambrian, characterized by DS1 composed by two facies associations denominated FA1 and FA2. FA1 consists of subarkoses, quartz-wackes and pelites dominated by wave and storm processes, inserted in the offshore-transition, lower-middle shoreface and upper shoreface zones. The presence of infaunal vertical trace fossils belonging to the *Skolithos* Ichnofacies (*Skolithos linearis*; *Diplocraterion parallelum*; and *Arenicolites* isp.) at the base of the lower-middle shoreface deposits indicated a Lower Cambrian age, or younger, to the Raizama Formation, previously considered as

Ediacaran. The FA2 comprehends subarkoses, quartzarenites, sublittarenites, quartz-wackes and sandstone/pelite rhythmites interpreted as complex tidal plain deposits, unconformably overlaid (SB2) by braided fluvial channel deposits of (FA3), which belong to the DS2. The DS1 would have been deposited during lowstand to transgressive system tract, organized in progradational parasequences. This stacking pattern is not compatible with the traditional stratigraphy sequence for TST, which is attributed to a slow subsidence rate concomitantly to a high sediment supply indicated by the *Skolithos* Ichnofacies. Subsequently, a less expressive drop in the sea level promoted a progradation of distal braided deposits (FA3) over the DS1, related to the lowstand system tract (LST) characterized by an abrupt change of the tidal heterolithic deposits to medium and coarse-grained quartzarenites from fluvial deposits. Paleoflow data oriented preferentially to NE and SE obtained in coastal beds from FA2 and FA3 allied to the Paleo- to Mesoproterozoic U-Pb detrital zircon ages have indicated provenance exclusively from SW and NW sources from Amazon Craton. Besides that, the detrital quartz grains analysis of sandstones of the bottommost Cambrian deposits indicate mainly igneous and metamorphic sources. Previous works indicated that the fluvial deposits of DS2 were succeeded by a transgressive system tract, marking this as the last transgressive event that influenced the Cambrian deposits of the intracratonic basin. Slowly, the ocean connection was interrupted as a consequence of the closing of Iapetus Ocean (~500 Ma) as a result of basin uplift. In this way, Cambrian epeiric seas were confined and consequently started the lacustrine phase of the basin in the Ordovician, represented by the Diamatino Formation deposits. Posteriorly, the intracratonic basin of the southeast Amazon Craton would have been inverted by the transtensional tectonics which propitiated the implantation of post-Cambrian intracontinental basins of the Western Gondwana.

Keyword: Cambrian. Amazon Craton. Inverted Intracratonic Basin. Alto Paraguai Group. Stratigraphic Sequence.



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 HUDSON PEREIRA SANTOS

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **HUDSON PEREIRA SANTOS** orientando do Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA), composta pelos professores doutores Eric Tohver (USP), Lucieth Cruz Vieira (UnB), Guilherme Raffaeli Romero (UFPA), Jean Michel Lafon (UFPA), e após apresentação da sua tese intitulada **“O CAMBRIANO NO SUDESTE DO CRÁTON AMAZÔNICO: PALEOAMBIENTE, PROVENIÊNCIA E IMPLICAÇÕES EVOLUTIVAS PARA O GONDWANA OESTE”**, 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 trabalho escrito foi apresentado na forma de artigos e atende todas as exigências para uma tese de doutorado. A descoberta do registro Cambriano no Grupo Alto Paraguai constitui uma contribuição inédita e relevante para o entendimento da evolução da bacia do sul do Craton Amazônico e o seu posicionamento em escala global.

A banca examinadora, por unanimidade, considerou que o conteúdo da tese e o desempenho do candidato justificou a aprovação da tese de doutorado com distinção.

Belém, 15 de junho de 2018.

Prof. Dr. Afonso César R. Nogueira (Orientador – UFPA)

Prof. Dr. Eric Tohver (USP)

Prof.ª Dr.ª Lucieth Cruz Vieira (UnB)

Prof. Dr. Guilherme Raffaeli Romero (UFPA)

Prof. Dr. Jean Michel Lafon (UFPA)