



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

TESE DE DOUTORADO Nº 144

**A SUCESSÃO JURÁSSICA-EOCRETÁCEA DA BACIA DO
PARNAÍBA, NE DO BRASIL: PALEOAMBIENTE,
DIAGÊNESE E CORRELAÇÃO COM OS EVENTOS
MAGMÁTICOS DO ATLÂNTICO CENTRAL (CAMP)**

Tese apresentada por:

CLEBER EDUARDO NERI RABELO

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

**BELÉM
2019**

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)

R114s Rabelo, Cleber Eduardo Neri
A sucessão Jurássica-Eocretácea da bacia do Pamaíba, NE do
Brasil : paleoambiente, diagênese e correlação com os eventos
magmáticos do Atlântico Central (CAMP) / Cleber Eduardo Neri
Rabelo. — 2019.
xx, 124 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e
Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do
Pará, Belém, 2019.

1. Rochas sedimentares . 2. Geologia estratigráfica -
Jurássico . 3. Geologia estratigráfica - Cretáceo. 4. Bacias
sedimentares. 5. Pangea (Supercontinente) . I. Título.

CDD 552.5



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

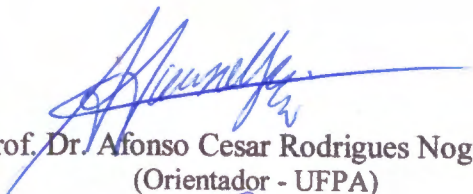
**A SUCESSÃO JURÁSSICA-EOCRETÁCEA DA BACIA DO
PARNAÍBA, NE DO BRASIL: PALEOAMBIENTE,
DIAGÊNESE E CORRELAÇÃO COM OS EVENTOS
MAGMÁTICOS DO ATLÂNTICO CENTRAL (CAMP)**


TESE APRESENTADA POR:
CLEBER EDUARDO NERI RABELO


**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na Área de
GEOLOGIA, linha de pesquisa ANÁLISE DE BACIAS SEDIMENTARES**


Data de Aprovação: 06 / 09 / 2019

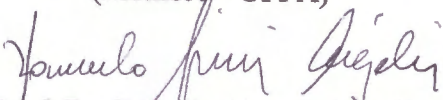
Banca Examinadora:


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


Prof.ª Dr.ª Liliane Janikian Paes de Almeida
(Membro - UNIFESP)


Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann
(Membro - UFPE)


Prof. Dr. Werner Truckenbrodt
(Membro - UFPA)


Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica
(Membro - UFPA)

Dedico esse trabalho à minha família:

Cleide Neri Rabelo, minha mãe.

Almir Raimundo Rabelo, meu pai.

Kely Neri Rabelo, minha querida irmã e

Claide M. A. dos Santos e Rayssa E. dos Santos N. Rabelo, minha amada esposa e minha filha

AGRADECIMENTOS

A **Deus** por ter abençoado e dado forças em todos os momentos dessa jornada e por sua presença constante na minha vida.

À minha família que sempre me apoiou, financiando meus estudos e que esteve sempre ao meu lado em todos os momentos. Um agradecimento especial a minha mãe, pois sempre me apoiou e me deu condições de estudar e lutar pelos meus objetivos. Ao meu pai que, com seu trabalho humilde, garantiu com o suor do seu rosto a minha formação acadêmica, e tendo visto todo o seu sacrifício como demonstração de amor. A minha irmã que cuidou da minha saúde e me deu muito amor e carinho para prosseguir na minha jornada. A minha esposa que sempre me apoiou e lutou lado-alado para conseguir os nossos objetivos, e aos momentos que me acalmou dizendo “você vai conseguir”. A minha amada filha razão da minha vida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES, código de financiamento 001) e ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq nº 141968/2016-8) pela concessão da bolsa de doutorado.

Ao orientador Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira, que em mais de dez anos de convivência sempre esteve disposto a ajudar, por seus ensinamentos e amizade, por todos os momentos de descontrações e puxões de orelha. Tenho por ele um grande apreço e gratidão.

Ao Msc. Alexandre Ribeiro pela amizade e por todas as discussões que foram fundamentais para a tese, por sua ajuda no campo e pós-campo.

Ao Dr. Rômulo Simões Angélica um amigo e um exemplo de servidor público, que sempre ajudou e me orientou em vários momentos na minha vida acadêmica.

Ao Professor Dr. Werner Truckenbrodt por seus ensinamentos e sabedoria sendo o principal responsável pelo crescimento do grupo de sedimentologia da UFPA.

Ao Dr. Claudio Nery Lamarão por sempre ajudar quando precisei, principalmente nas análises de MEV.

A Cleida por sua amizade e paciência em toda as fases dessa vida acadêmica, facilitando tudo o que estava nas suas possibilidades e atribuições.

A todos os técnicos da UFPA em especial ao Afonso Quaresma, Everaldo Cunha, Joelma (um amor de pessoa) e ao motorista Nascimento.

Ao Dr. Francisco Romero Abrantes Jr. por sua ajuda em todas as fases dos trabalhos, por sua amizade e por tudo que contribuiu na minha vida.

Ao Dr. Roberto Vizeu Pinheiro por sua amizade, ajuda e todos os momentos de descontração durante esses anos de estudo.

Ao amigo Renan Fernandes por sua companhia e por ter contribuído na fase de revisão e formatação deste trabalho.

Aos técnicos da biblioteca, em especial ao Hélio Braga que ajudou na formação da tese.

Aos amigos e companheiros do GSED em especial ao Dr. Isaac Salem, Dr. Hudson Pereira Santos, Dr. Pedro Augusto, Dr Luiz Saturnino, Msc. Renato Sol e a querida amiga Isabela que contribuiu nas discussões e descrições das lâminas petrográficas.

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.” (Theodore Roosevelt)

RESUMO

A história da transição do Jurássico ao Eocretáceo (~200 a 100 Ma) nas bacias do Norte do Brasil foi marcada por mudanças paleoambientais, paleoclimáticas e paleogeográficas expressivas relacionadas à fragmentação do Supercontinente Pangéia. Este evento foi concomitante com a abertura do Oceano Atlântico Central (ca. 190 Ma) e instalação de extensas províncias ígneas (LIPs) como a Província Magmática do Atlântico Central (CAMP). Esses eventos precederam a ruptura do West Gondwana e, no Brasil, estão registrados principalmente nas bacias intracratônicas do Solimões, Amazonas e Parnaíba. Os eventos extrusivos relacionados a CAMP ocorrem apenas na Bacia do Parnaíba e são registrados em basaltos da Formação do Mosquito de idade jurássica inferior ($199,7 \pm 2,45$ Ma). Estas rochas ocorrem intercaladas com arenitos e pelitos (depósitos *intertrap*) e são recobertas discordantemente pelas formações Corda e Pastos Bons do Cretáceo inferior. As análises de fácies e petrográficas realizadas em afloramentos e testemunhos de sondagem da sucessão Jurássica-Cretácea, exposta nas regiões centro-oeste e sudeste da Bacia do Parnaíba revelaram trinta e quatro fácies sedimentares agrupadas em 8 associações de fácies representativas de sistemas desérticos úmidos implantados sobre uma planície vulcânica basáltica (formações Mosquito e Corda) e de sistemas lacustres (depósitos *intertrap* e Formação Pastos Bons). Os arenitos *intertrap* são interpretados com depósitos fluvio-eólicos, são intensamente silicificados, com grãos arredondados a subangulosos de granulometria fina a grossa, além de grânulos e seixos de rocha vulcânica, quartzo e, subordinadamente, feldspato. Os canais fluviais com dunas subaquosas e lençóis arenosos foram incisos no substrato basáltico e enxurradas favoreceram a infiltração mecânica de argilas no sedimento e formando cutículas sobre os grãos. Lateralmente ao sistema fluvial coexistiam dunas eólicas indicadas pelo registro de arenitos finos a médios, com grãos arredondados e foscos, exibindo estratificações cruzadas de baixo ângulo e tabular de pequeno porte. As áreas topograficamente mais rebaixadas favoreceram a formação de depósitos interdunares e de lagos rasos registrados por ritmito arenito-lamito silicificado com acamamento ondulado e estruturas de adesão. O fluxo de calor e a atividade hidrotérmica relacionados a colocação dos derrames basálticos aceleraram a devitrificação dos clastos vulcânicos, liberando sílica e culminando na precipitação eodiagenética de calcedônia e, subordinadamente, megaquartzo, zeólita poiquilotópica e óxidos de Fe e Ti, reduzindo a porosidade e a permeabilidade dificultando os processos da diagênese de soterramento pós-jurássicos. No intervalo entre o Jurássico Superior ao Cretáceo Inferior, a diminuição das isotermas e da carga crustal induzida pelo peso dos corpos de basalto propiciou a implantação do sistema desértico húmido Corda. Este sistema desértico é composto por depósitos de campo de dunas, canais fluviais efêmeros e perenes com migração preferencial para o sudeste. Os depósitos de

campo de dunas consistem em arenitos finos a médios com grãos arredondados e foscos, exibindo estratificações cruzadas tabulares e tangenciais de pequena a média escala, além de estratificação plano-paralela e laminação cruzada cavalgante subcrítica. Os depósitos de interdunas úmidas são constituídos por arenitos finos a médios formando ciclos centimétricos com topos marcados por paleossolos indicados por horizontes mosqueados ricos em óxido-hidróxido de ferro, bioturbações, laminação ondulada, estruturas de adesão e gretas de dissecação. O sistema fluvial Corda provavelmente alimentou o lago Pastos Bons implantado no depocentro da bacia durante o Cretáceo Inferior. Estes depósitos fluviais são constituídos predominantemente por conglomerados com grânulos e seixos angulosos de basalto, arenitos finos a grossos com estratificações cruzadas acanaladas e sigmoidais, laminação cruzada e acamamento maciço, e subordinadamente argilitos. Depósitos de lençol de areia são compostos de arenitos finos a grossos, com laminação plano-paralela, estratificação cruzada de baixo ângulo, laminação cruzada cavalgante subcrítica, estruturas de adesão, *gutter casts* e estruturas de sobrecarga. O cimento de zeólita poiquilotópica é representado pela laumontita e estilbita-Ca, ocorrendo principalmente nos depósitos de dunas. Esta cimentação foi produzida pela interação da percolação de fluido no substrato vulcânico intemperizado. A reativação desse sistema diagenético foi desencadeada pelo magmatismo cretáceo pós-CAMP (Formação Sardinha) que influenciou e acelerou as reações químicas em um sistema diagenético hidrológico aberto com pH alcalino, baixa PCO_2 , depleção de K^+ e alta razão Si/Al. A fase eodiagenética do arenito Corda, em baixas temperaturas foi marcada pela precipitação de franjas de calcita, estilbita-Ca e compactação mecânica. Com o aumento da temperatura ocorreu a precipitação da laumontita. Em oposição a fase de laumontita foi precipitada em temperaturas mais elevadas. Esta pesquisa permitiu ampliar o conhecimento principalmente sobre: 1) os processos e produtos relacionados à interação entre a sedimentação continental e a erupção fissural do basalto ligada ao último evento magmático da CAMP; 2) os mecanismos de cimentação precoce anômala que dificultou a diagênese tardia desses depósitos; e 3) o papel do aquecimento pós-CAMP na reativação desse sistema diagenético do Cretáceo. Este novo entendimento é uma assinatura no reconhecimento dos depósitos Jurássico-Cretáceos da Bacia do Parnaíba, que pode ser usado para a correlação com outras bacias do Gondwana Oeste.

Palavras-chave: Sistema desértico úmido. Depósitos *intertrap*. Jurássico-Eocretáceo. Bacia do Parnaíba. Pangéia Ocidental. Diagênese.

ABSTRACT

The evolution of the Jurassic-Cretaceous transition (~200 to 100 Ma) in the northern Brazilian basins was marked by expressive paleoenvironmental, paleoclimatic and paleogeographic changes related to the Pangea's breakup. This event was concomitant with the opening of the Central Atlantic Ocean (ca. 190 Ma) and the installation of large igneous provinces (LIPs) such as the Magmatic Province of the Central Atlantic or CAMP. These events preceded the breakdown of the West Gondwana and, in Brazil, are recorded mainly in the basins of Solimões, Amazonas, and Parnaíba. Extrusion of CAMP basalts occurred only in the Parnaíba Basin related to the Lower Jurassic Mosquito Formation (199, 7 ± 2.45 Ma) generally interbedded with sandstone and mudstone (*intertrap* deposits), unconformably overlain by the Lower Cretaceous Corda and Pastos Bons formations. Facies and petrographic analysis based on outcrops and drill cores of this succession in the central-west and southeast portions of the Parnaíba Basin revealed thirty-four sedimentary facies grouped in 8 facies associations representing wet desert systems implanted on a basaltic substrate (Mosquito and Corda formations) and of lacustrine systems (Mosquito *intertrap* deposits and Pastos Bons Formation). The *intertrap* sandstone is interpreted as fluvial-eolian deposits composed of intensely silicified fine- to coarse-grained sandstone with rounded to subangular grains, granules and pebbles predominantly of volcanic, quartz, and subordinate feldspars. The fluvial channels with subaqueous dunes and sand sheets were incised on the basaltic substrate and flash flood propitiated the mechanical infiltration of clays on the sediments forming coatings over grains. Eolian dunes were adjacent to the fluvial system recorded by fine- to medium-grained sandstone with rounded and frosted grains and exhibiting small- to medium-scale low-angle and tabular cross-stratification. Interdune and pond/shallow lake deposits developed in topographic shoals consist of silicified sandstone-mudstone rhythmite with wavy bedding and fine-grained sandstone with adhesion structures. The heat-flow and hydrothermal activity of basalt eruption increasing the devitrification of volcanic clasts releasing silica and propitiating massive eodiagenetic precipitation of chalcedony, megaquartz, poikilotopic zeolite and Fe-Ti oxides reducing the porosity and the permeability precluding the post-Jurassic burial diagenesis. During the Late Jurassic to Early Cretaceous, the decreasing of isotherms and crustal loading induced by the weight of basalt bodies propitiated the implantation of the Corda wet desert system. The desert system consisted of dune field and ephemeral and perennial fluvial channels with preferential migration to the southeast. Dune field deposits consist of fine- to medium-grained sandstone with rounded and frosted grains with small- to medium-scale tabular and tangential cross-stratifications, even parallel stratification and

subcritically climbing ripple-cross lamination. Wet interdune deposits consist in fine- to medium-grained sandstone forming centimetric-scale cycles with tops interpreted as paleosoils indicated by mottled horizons rich in iron oxide-hydroxide, bioturbations, wavy lamination, adhesion structures, and dissection cracks. The Corda fluvial system probably fed the Pastos Bons lake implanted on the basin depocenter during Early Cretaceous. These fluvial deposits consist predominantly of conglomerates with angular granules and pebbles of basalt, fine- to coarse-grained sandstones with trough and sigmoidal cross-beddings, cross lamination, massive bedding, and subordinate mudstone. Sand sheet deposits are composed of fine- to coarse-grained sandstone with even parallel lamination, low angle cross-bedding, subcritically climbing ripple-cross lamination, adhesion ripples, gutter casts, and load cast structures. The poikilotopic zeolite is represented by laumontite and Ca-stilbite occurring mainly in the dune field deposits. This cementation was produced by the interaction of the fluid that percolated the weathered volcanic substrate. The reactivation of this diagenetic system was triggered by the Cretaceous magmatism (The Post-CAMP Sardinha Formation). This regional heating influenced and accelerating the chemical reactions in an open hydrological diagenetic system with alkaline pH, low-PCO₂, K⁺ depletion, and high Si/Al relation. The eodiagenetic phase of the Corda sandstone was marked by the precipitation of calcite fringes, Ca-stilbite, and mechanical compaction. In contrast, the laumontite was precipitated in high temperatures. This research allowed us to expand our knowledge mainly about: 1) the processes and products linked to the interaction between continental sedimentation and the last magmatic event of the CAMP; 2) the early cementation mechanisms that hindered the burial diagenesis effects on these deposits; and 3) the role of post-CAMP heating in the reactivation of the Cretaceous diagenetic system. This new understanding represents a signature on recognition of the Jurassic-Cretaceous deposits of the Parnaíba Basin, which can be used in the correlation with other basins of the West Gondwana.

Keywords: Wet Desertic System. Intertrap deposits. Jurassic-Cretaceous. Parnaíba Basin. Western Pangea. Diagenesis.



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 CLEBER EDUARDO NERI RABELO

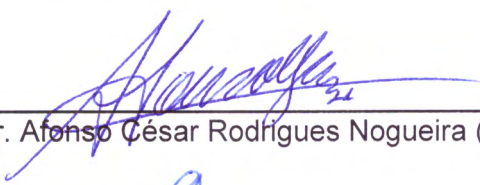
A banca examinadora da Tese de Doutorado de **CLEBER EDUARDO NERI RABELO** orientando do Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA), composta pelos professores doutores Liliâne Janikian Paes de Almeida (UNIFESP), Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (UFPE), Werner Truckenbrodt (UFPA) e Rômulo Simões Angélica (UFPA) após apresentação da sua tese intitulada “**A SUCESSÃO JURÁSSICA-EOCRETÁCEA DA BACIA DO PARNAÍBA, NE DO BRASIL: PALEOAMBIENTE, DIAGÊNESE E CORRELAÇÃO COM OS EVENTOS MAGMÁTICOS DO ATLÂNTICO CENTRAL (CAMP)**”, emite o seguinte parecer:

O candidato realizou sua apresentação de forma clara, bem organizada, segura e 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 três artigos e atende as exigências básicas para uma tese de doutorado.

Destaca-se os resultados relevantes e inéditos sobre depósitos sedimentares associados a derrames basálticos e as fases diagenéticas anômalas. Mostrou ainda uma detalhada evolução dos processos diagenéticos dos arenitos estudados.

Finalmente, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado.

Belém, 6 de setembro de 2019.



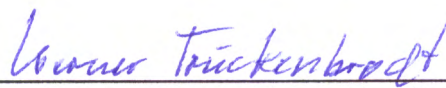
Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (Orientador – UFPA)



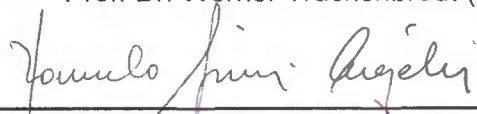
Prof.^a Dr.^a Liliâne Janikian Paes de Almeida (UNIFESP)



Prof. Dr. Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (UFPE)



Prof. Dr. Werner Truckenbrodt (UFPA)



Prof. Dr. Rômulo Simões Angélica (UFPA)