



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

TESE DE DOUTORADO N° 116

**PALEOAMBIENTE, PALEOGEOGRAFIA E ISÓTOPOS DE
CARBONO E OXIGÊNIO DE DEPÓSITOS CARBONÁTICOS
MIOCENOS DA PLATAFORMA BRAGANTINA, NORDESTE
DO ESTADO DO PARÁ, BRASIL**

Tese apresentada por:

KAMILLA BORGES AMORIM

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

BELÉM-PA

2016

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Amorim, Kamilla Borges, 1985-

Paleoambiente, paleogeografia e isótopos de carbono e oxigênio de depósitos carbonáticos miocenos da Plataforma Bragantina, NE do estado do Pará, Brasil / Kamilla Borges Amorim. - 2016.

Orientador: Orientador: Afonso César Rodrigues Nogueira.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Belém, 2016.

1. Geologia estratigráfica – Oligoceno. 2. Geologia estratigráfica – Mioceno. 3. Formações (Geologia) – Pará, Nordeste. 4. Carbono - isótopos. I. Título.

CDD 22. ed. 551.785



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

**PALEOAMBIENTE, PALEOGEOGRAFIA E ISÓTOPOS DE
CARBONO E OXIGÊNIO DE DEPÓSITOS CARBONÁTICOS
MIOCENOS DA PLATAFORMA BRAGANTINA, NE DO
ESTADO DO PARÁ, BRASIL**


TESE APRESENTADA POR

KAMILLA BORGES AMORIM

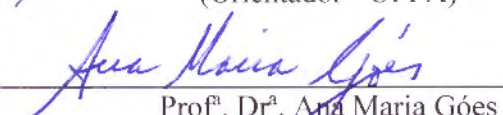
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutor em Ciências na área de
GEOLOGIA

Data da Aprovação: 16 / 09 / 2016

Banca Examinadora:



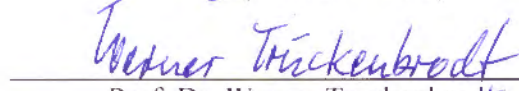
Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira
(Orientador - UFPA)



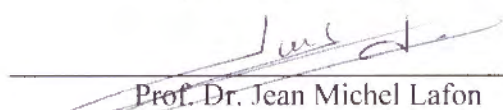
Prof. Dr.ª Ana Maria Góes
(Membro - USP)



Prof. Dr. Orangel Antonio Aguilera Socorro
(Membro - UFF)



Prof. Dr. Werner Truckenbrodt
(Membro - UFPA)



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

À minha amada mãe Maria Lúcia Ribeiro Borges
Aos meus irmãos Carla e Vinícius
À minha querida avó Francisca Ribeiro Borges

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me fazer acreditar que a fé nos torna mais fortes.

A minha família, em especial a minha mãe Maria Lúcia, pelo seu amor e incentivo, e por me dar força em todas as etapas deste trabalho. Você é o melhor exemplo de persistência e bondade, Te amo! Aos meus irmãos pelo apoio e amizade.

A Universidade Federal do Pará (UFPA) e ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica (PPGG) pela infraestrutura oferecida.

A CAPES e ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado e doutorado sanduíche.

Ao prof. Dr. Afonso Nogueira, pela confiança ao aceitar me orientar, quando imaginei estar à deriva, pelo apoio e pelas inúmeras oportunidades aprendizado acadêmico e pessoal, e pelo esforço para que o nosso trabalho fosse concluído com sucesso. Jamais esquecerei os nossos dias de trabalho árduo e os livros caindo da estante...rsrsrs...Obrigada!

Ao professore Dr. Rômulo Angélica por grandes ensinamentos, incentivo e discussões científicas para este trabalho.

Ao Prof. Dr. Alcides N. Sial, do Laboratório de Isótopos Estáveis da UFPE, por realizar as análises de isótopos de C e O. À Joelma Lobo, do Laboratório de Laminação da UFPA, pela confecção de lâminas. A equipe do Laboratório de Microanálise da UFPA, pelo auxílio na análise de MEV. A equipe do Laboratório de caracterização mineral da UFPA pelo auxílio nas análises de difração de raios-x.

Je remercie Prof. PhD. Pierre Sansjofre pour les importantes orientations, amitié et pour l'opportunité de travailler à LDO-IUEM. Je remercie également à tous de l'équipe du Laboratoire Domaines Océaniques du Institut Universitaire Européen de la Mer, en particulier Stefan Lalonde et Oanez Lebeau. J'exprime ma gratitude à toutes les personnes que j'ai rencontrées en France, en particulier Andea Viana, Chiara Balestrieri e Annalisa Minelli, vous me manques.

Ao professor Dr. Joelson Soares por sua amizade, incentivo e discussões em todas as etapas deste trabalho. Sua ajuda foi fundamental para que eu pudesse concluir este trabalho.

Ao Dr. Isaac Daniel Rudnitzki, pelo apoio, discussões e correções durante a elaboração deste trabalho, e pelos conselhos nas horas difíceis.

Ao Msc. Jhon Afonso pelas inúmeras contribuições na elaboração deste trabalho e por ser o melhor companheiro nas horas complicadas. Sua atenção, amizade, carinho, paciência e amor me fazem querer melhorar a cada dia pra te ofecerer tudo isso em dobro. Te amo!

A Dr^a e amiga Carla Barreto por estar sempre ao meu lado e por me mostrar que o tempo é o senhor de tudo, capaz de nos fazer enxergar pessoas maravilhosas que apenas víamos passar. Que nossa amizade seja infinta e que a lealdade que nos une sempre prevaleça. Te amo.

Aos meus amigos Hudson Santos, Isaac Salém e Francisco Abrantes pelos inúmeros momentos de descontração e apoio em todas as etapas deste trabalho. A ajuda e o incentivo de vocês foram fundamentais nesta caminhada dura. Sinto-me imensamente feliz e honrada em tê-los como amigos. Muito obrigada por tudo!

Aos companheiros do grupo GSED, Porf Dr.José Bandeira, Ana Andressa, Pedro Augusto, Meireanny Gonçalves, Raiza Renne, Alexandre Castelo, Alexandre Ribeiro, Walmir, Renato Sol, Cleber Eduardo, e, em especial aos amigos Franco Felipe e Luiz Saturnino pelas inúmeras e acaloradas discussões científicas na sala 8 e por proporcionarem um ambiente de estudo e trabalho agradáveis.

Finalmente, agradeço a todos que, de alguma forma, colaboraram para a conclusão deste trabalho. Obrigada!

*“Jamais se desespere em meio as sombrias
aflições de sua vida, pois das nuvens mais
negras cai água límpida e fecunda.”*

Provérbio Chinês

RESUMO

A transição Oligoceno-Mioceno, que representa o início do Neógeno, foi marcada por eventos globais de variação do nível do mar, que promoveu uma das maiores transgressões marinhas do planeta. No Brasil depósitos associados a essa transgressão são observados na costa equatorial norte, com significativas exposições na porção leste da Plataforma Bragantina, norte do Pará. Esse registro consiste em depósitos carbonáticos e siliciclásticos da Formação Pirabas, que correspondem a porção *onshore* de uma plataforma carbonática rasa. Estudos estratigráficos possibilitaram a divisão da Plataforma Pirabas em plataforma interna e interna/intermediária. A plataforma interna é constituída por depósitos de *tidal flats* e laguna (rasa e profunda). Os *tidal flats* são caracterizados por *dolomudstone* com terrígeno, *dolomudstone* peloidal, *boundstone* com laminação microbial, ritmito bioturbado e argilito maciço. A laguna rasa é caracterizada por *wackestone/packstone* laminado e *calcimudstone* bioturbado e a laguna profunda é constituída por *dolowackestone*, *floatstone* maciço com briozoário e *wackestone* maciço com equinodermos. A plataforma interna/intermediária é composta por depósitos de *tidal inlets* e barreiras bioclásticas/*front shoal*. O *tidal flats* é constituído por *wackestone/packstone* com briozoário, *packstone* com briozoário e *grainstone* com foraminíferos e algas vermelhas que apresentam estratificações cruzadas de baixo ângulo. As barreiras bioclásticas/*front shoal* são compostas por *bafflestone* com briozoário, *wackestone/packstone* com *Marginopora sp.* e terrígenos, *packstone/grainstone* com foraminíferos e *rudstone* com bivalve. A plataforma apresenta rico conteúdo fóssilífero, composto principalmente por fósseis de briozoários, equinodermos, bivalves, gastrópodes, foraminíferos bentônicos e planctônicos, algas verdes e vermelhas, ostracodes, fragmentos de corais, traços fósseis de *Gyrolithes*, *Thalassinóides* e *Sinusichnus*, estes últimos traços fósseis de crustáceos decápodes. Na plataforma interna a diversidade faunística é menor com predomínio de briozoários, foraminíferos planctônicos, ostracodes e traços fósseis, enquanto que na zona de plataforma interna/intermediária a diversidade faunística é maior, e constituída em grande parte por fósseis bentônicos de foraminíferos, briozoários, bivalves e gastrópodes. A plataforma mostra uma variação no conteúdo mineralógico, com a quantidade de calcita diretamente relacionada a períodos de expansão da plataforma interna/intermediária com maior precipitação carbonática. Por outro lado, as proporções de dolomita, quartzo, gipsita e pirita estão diretamente associadas a períodos de progradação da plataforma interna, relacionada a maior taxa de evaporação e influxos continentais. As variações faciológicas, fóssilíferas e mineralógicas mostram que a deposição da Formação Pirabas foi diretamente

associada a variações do nível do mar, que proporcionou intensas mudanças na linha de costa, registrada em ciclos de raseamento ascendentes de alta frequência, que nas porções basais da sucessão mostram-se predominantemente retrogradantes, enquanto que nas porções superiores são mais progradantes. O arcabouço quimiostratigráfico da Formação Pirabas foi construído a partir de isótopos de carbono ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$) e oxigênio ($\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$), elementos terras raras e traços. As razões isotópicas de carbono refletem assinatura isotópica primária e os valores de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ variam em função de cada ambiente deposicional. As razões de $\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$ apresentam um padrão dispersivo e os valores mostram influenciados diagenética.. Os ETR's mostram um padrão homogêneo, com concentrações enriquecidas em ETR's leves e depleção nos ETR's pesados. A concentração dos elementos traços (Fe, Sr e Mn) está dentro dos valores esperados para rochas carbonáticas com influência mínima da diagênese no conteúdo geoquímico. As tendências e excursões da curva de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ coincidem com as variações observadas nos ciclos deposicionais de raseamento ascendente da Formação Pirabas. Os intervalos relacionados ao aumento do nível do mar são marcados por razões de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ próximas a 0‰, já as os intervalos dos ciclos relacionados a queda do nível do mar são marcadas por anomalias negativas de $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$. A correlação entre as curvas de $\delta^{13}\text{C}$ da Formação Pirabas e global não mostrar estreita covariância, no entanto é possível sugerir que os valores de $\delta^{13}\text{C}$ obtidos da sucessão estudada refletem, mesmo que minimamente, as excursões isotópicas globais observadas no período interglacial do Eomioceno ao Mesomioceno. A curva de variação do nível do mar da Formação Pirabas apresenta intervalos semelhantes à curva de eustática global de curta duração. No entanto, a maior frequência dessas variações do nível do mar, observadas na curva eustática da sucessão estudada, indica uma provável interferência de fatores tectônicos locais na sedimentação. Trabalhos anteriores sugeriram que o colapso da plataforma carbonática na região da Plataforma Bragantina foi influenciado desenvolvimento pelo influxo siliciclástico do Proto-cone do rio Amazonas durante o Mesomioceno. A análise comparativa dos dados estratigráficos das bacias e plataformas localizadas ao longo da porção leste da zona costeira da Amazônia sugere que aumento progressivo da sedimentação siliciclástica, observada no topo da Formação Pirabas está relacionada com a progradação da Formação Barreiras, em resposta tectônica transpressiva/transensiva do Eo/Mesomioceno, devido reativações de falhas geradas no último evento de subsidência térmica na costa brasileira durante a formação do Atlântico Sul.

Palavras-chave: Plataforma carbonática. Formação Pirabas. Arcabouço quimioestratigráfico. Plataforma Bragantina. Oligoceno-Mioceno.

ABSTRACT

The onset of the Neogene is marked by the Oligocene-Miocene transition characterized by sea level global variations that triggered one of the major marine transgressions in the Earth. In Brazil, deposits related to this event are recorded in north equatorial coast with meaningful exposures in eastern Bragantina Platform, north of Pará State. These are composed by carbonate and siliciclastic deposits of the Pirabas Formation corresponding to onshore portion of a shallow carbonate platform. Stratigraphic studies allowed the Pirabas Platform division in inner platform and inner/middle platform. The inner platform is composed by tidal flats and lagoon (shallow and deep) deposits. The tidal flats are characterized by terrigenous dolomudstone, peloidal dolomudstone, boundstone with microbial mats, bioturbated rhythmites, and massive argillite. Shallow lagoon deposits are composed by laminated wackestone/packstone and bioturbated calcimudstone and the deep lagoon are constituted by dolowackstone, massive floatstone with bryozoan and massive wackestone with equinoderms. The inner/middle platform is composed by tidal inlets and bioclastic/front shoal barriers. Tidal flats deposits are constituted by wackestone/packstone with bryozoan, packstone with bryozoan and grainstone with foraminifers and red algae that display low-angle cross stratification. Bioclastic/front shoal barriers are constituted by bafflestone with bryozoan, wackestone/ packstone with *Marginopora sp.* and terrigenous, packstone/grainstone with foraminifers, and rudstone with bivalves. The platform displays a rich fossiliferous content composed by bryozoan, equinoderms, bivalves, gastropods, benthic and planktonic foraminifers, green and red algae, ostracods, coral fragments fossils; *Gyrolithes*, *Thalassinoids*, *Sinusichnus* trace fossils, this last one made by decapods crustaceous. In the inner platform the faunistic diversity is smaller dominated by bryozoan, planktonic foraminifers, ostracods, and trace fossils, while in the inner/middle platform zone this diversity is higher widely constituted by benthonic foraminifers fossils, bryozoans, bivalves and gastropods. The platform shows variations in the mineralogical content, where the calcite amount is directly related to exposition periods of the inner/middle platform with great carbonate precipitation. On the other hand, the dolomite, quartz, gypsum and pyrite are related to progradation periods in the inner platform, with higher evaporation rates and continental influx. Faciological, fossiliferous and mineralogical variations displays that the Pirabas Formation was closely related to sea level variations leading to changes in shoreline recorded in high frequency shallow-upward cycles, with the cycles in the base of succession predominantly retrogradational while in the top are progradational. The chemostratigraphic

framework from Pirabas Formation was made by carbon ($\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$) and oxygen ($\delta^{18}\text{O}_{\text{carb}}$) isotopes, rare earth elements (ETR) and traces. Carbon isotopic ratios reflect a primary isotopic signature with variations of values related to each depositional environment. Oxygen isotopic ratios demonstrate a dispersive pattern related to diagenetic influence. The ETR's show a homogeneous pattern with enriched concentrations in light ETR's and heavy ETR's depletion. Trace elements concentration (Fe, Sr and Mn) is within expected values to carbonate rocks with little influence of diagenesis in the geochemical content. The trend and $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ excursion curve coincide with the variations observed in shallow-upward depositional cycles from Pirabas Formation. Intervals related to the sea level rise are marked by the $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ ratios close to 0‰ while the intervals of the cycles with negative $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ anomalies are linked to sea level falls. Correlations among $\delta^{13}\text{C}_{\text{carb}}$ curves from Pirabas Formation and global do not show close covariance, however we suggested that the $\delta^{13}\text{C}$ purchased reflect, even minimally, the global isotopic excursions that marks the Eomiocene-Mesomiocene interglacial period. The sea level curve variation of Pirabas Formation display intervals similar to the short-term global eustatic curve. However, the bigger frequency of this sea level variations observed in Pirabas Formation probably indicates local tectonic factors interference in the sedimentation. Previous works suggested that the carbonate platform collapse in the Bragantina Platform region was influenced by the siliciclastic influx from Proto-cone of Amazonas River during the Mesomiocene. The comparative analysis of stratigraphic dates from basins and platforms along the coastal eastern portion in Amazon coastal zone suggests that the progressive increase of siliciclastic sedimentation, noted in the upper Pirabas Formation is related to the Barreira Formation progradation, as an answer to the transpressive/transpressive tectonic in Eo/ Mesomiocene due faults reactivations generated in the last thermal subsidence event in the Brazilian coast during the south Atlantic ocean formation.

Keywords: Carbonate platform. Pirabas Formation. Chemostratigraphic framework. Bragantina Platform. Oligocene-Miocene.



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
KAMILLA BORGES AMORIM

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **KAMILLA BORGES AMORIM** orientanda do Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira (UFPA), composta pelos professores doutores Ana Maria Góes (USP), Orangel Antonio Aguilera Socorro (UFF/RJ), Jean Michel Lafon (UFPA), e Werner Walter Hermann Truckenbrodt (UFPA), após apresentação da sua tese intitulada **“PALEOAMBIENTE, PALEOGEOGRAFIA E ISÓTOPOS DE CARBONO E OXIGÊNIO DE DEPÓSITOS CARBONÁTICOS MIOCENOS DA PLATAFORMA BRAGANTINA, NE DO ESTADO DO PARÁ, BRASIL”** emite o seguinte parecer:

A candidata apresentou contribuição relevante ao conhecimento sobre a evolução paleoambiental e paleogeográfica dos depósitos carbonáticos miocenos da região Oriental da Amazônia. O documento está bem estruturado na forma de três artigos que inclui um volume significativo de dados faciológicos, geoquímicos e isotópicos sintetizados em interpretações paleogeográficas relevantes. A apresentação oral foi adequada para um nível de doutorado e a candidata respondeu bem a arguição da banca examinadora demonstrando maturidade científica. A banca sugere adequação dos artigos para publicação consolidando as interpretações apresentadas.

Com base no exposto, a banca examinadora decidiu por unanimidade aprovar a tese de doutorado de Kamilla Borges Amorim.

Belém, 16 de setembro de 2016.


Afonso César Rodrigues Nogueira (Orientador – UFPA)


Ana Maria Góes (USP)


Orangel Antonio Aguilera Socorro (UFF/RJ)


Jean Michel Lafon (UFPA)


Werner Walter Hermann Truckenbrodt (UFPA)