



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

TESE DE DOUTORADO Nº 153

**ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DE CARBONO, NITROGÊNIO,
FÓSFORO E METAIS EM CANAIS DE MARÉ DOS MANGUE-
ZAIS DE MARAPANIM, COSTA NORTE BRASILEIRA**

Tese apresentada por:

CHRISTIENE RAFAELA LUCAS DE MATOS

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen (UFPA)

Coorientador: Dr. José Francisco Berrêdo Reis da Silva (MPEG)

**BELÉM - PA
2020**

**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)**

- M425a Matos, Christiene Rafaela Lucas de
Acúmulo e exportação de carbono, nitrogênio, fósforo e metais em canais de maré dos manguezais de Marapanim, Costa Norte Brasileira / Christiene Rafaela Lucas de Matos. — 2020.
xi, 91 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen Coorientador(a): Prof. Dr. José F. Berrêdo
Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.
1. Diagênese recente. 2. Fontes de matéria orgânica. 3. Condições redox. 4. Fluxos difusivos. 5. Água intersticial. I. Título.

CDD 558.11



Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DE CARBONO, NITROGÊNIO,
FÓSFORO E METAIS EM CANAIS DE MARÉ DOS
MANGUE- ZAIS DE MARAPANIM, COSTA NORTE
BRASILEIRA**

TESE APRESENTADA POR:

**CHRISTIENE RAFAELA LUCAS DE
MATOS**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Doutora em Ciências na Área de GEO-
LOGIA e Linha de Pesquisa em GEOLOGIA MARINHA E COSTEIRA**

Data de Aprovação: 18 / 12 / 2020

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Cancela L. Cohen
Orientador – UFPA

Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini
Membro – USP

Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda
Membro – USP

Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa
Membro – UFPA

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto
Membro – UFPA

Ao querido,
Professor Berrêdo

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Pará, através do excelente programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Instituto de Geociências pela oportunidade de realizar este doutorado, pela utilização de sua infraestrutura, laboratórios, e em especial por disponibilizar sala para alunos, a qual foi fundamental para o desenvolvimento desta tese.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Agradeço a esta instituição pelo apoio financeiro, e pela concessão da bolsa PDSE que foi importante para a conclusão de parte desta tese e para minha formação como pesquisadora.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de doutorado. Agradeço esta instituição tão importante para realização deste trabalho, incluindo a taxa de bancada que viabilizou a compra de material para laboratório e campo, participação em congresso, dentre outros.

Ao pesquisador Dr. Berrêdo do Museu Paraense Emílio Goeldi quem primeiramente idealizou esse trabalho comigo. Obrigada por ter depositado sua confiança em mim, me incentivando e me orientando desde o início da minha vida acadêmica até agora como meu coordenador no doutorado, contribuindo significativamente em cada uma das fases da minha vida acadêmica. Seu conhecimento em geoquímica dos manguezais, experiência em trabalho de campo e liderança exemplar foram muito valiosos para esta pesquisa.

Ao meu orientador Prof^o Dr. Marcelo Cohen pela oportunidade e confiança em aceitar me orientar neste doutorado. Você me mostrou entusiasmo e dedicação para com meu projeto de tese, uma ótima relação orientador-aluno, o que permitiu concluir minha tese da melhor maneira possível.

Ao Prof^o Dr. Wilson Machado da Universidade Federal Fluminense pela parceria com esse trabalho, pelas ideias e sugestões durante a preparação e publicação dos artigos científicos. Obrigada pelo entusiasmo e dedicação a todos os projetos em que trabalhamos juntos, sua abordagem ao ensino e à pesquisa tem me inspirado muito.

Ao Prof^o Dr. Edouard Metzger pela parceria com esse trabalho, pelas ideias e sugestões durante a preparação e publicação dos artigos científicos. Por me receber tão bem na Universidade de Angers para o doutorado sanduíche.

Ao pesquisador Dr. Christian Sanders da “Southern Cross University” (SCU), por aceitar participar desse projeto. Você desempenhou um papel importante para garantir o sucesso desta pesquisa, contribuindo com análises isotópicas de C e N, datação e taxas de sedimentação.

Muito obrigada pela confiança depositada em mim, e pela grande ajuda durante a preparação e publicação dos artigos científicos.

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi pelo apoio e estrutura (laboratorial e de campo) oferecidos para o desenvolvimento do meu doutorado.

Ao Instituto Evandro Chagas e seus funcionários do departamento de Meio Ambiente (Kelson, Mônia e Nelton) pelas análises de metais.

Ao LAMIGA pela análise granulométrica. E aos amigos Laís e Pablio pelo suporte nas análises.

À amiga Prof^a Dra. Rut Diaz que sempre me recebe tão bem durante minha estadia em Niterói, obrigada por todo apoio nas análises de AVS e CRS.

Ao Prof^o Dr. José Augusto por me abrir as portas de seu laboratório, e me apoiar nas análises de cromatografia iônica.

À bolsista de iniciação científica Lyandra do MPEG por todo apoio laboratorial.

Ao Josué e ao Lucivaldo pelo apoio nas atividades de campo.

Ao colega Thiago Souza pelo apoio em um dos trabalhos de campo.

À minha família e meu namorado Tiago por me apoiar em mais um degrau da minha formação acadêmica.

RESUMO

Neste estudo foi avaliado o potencial dos sedimentos de canais de maré de manguezais em acumular e exportar carbono, nutrientes (N e P), e metais (Fe e Mn), além de avaliar como a sazonalidade regional, chuva-estiagem, influenciam nos parâmetros físico-químicos, nos processos diagenéticos e nos fluxos de nutrientes e metais na interface água-sedimento (IAS). O estudo foi realizado no sistema estuarino do rio Marapanim (norte do Brasil), o qual é influenciado por extensas áreas de manguezais bem desenvolvidos, parte da maior floresta de manguezal contínua e mais bem preservada do mundo, situado aproximadamente a 200 km a oeste da foz do rio Amazonas. Os resultados desse trabalho estão apresentados em dois artigos. O primeiro trata sobre o potencial de estoques e acumulação de carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT) e fosforo total (PT), além de investigar as potenciais fontes de matéria orgânica (MO) nos sedimentos de canais de maré dos manguezais de Marapanim. O segundo avaliou a influência da sazonalidade nas condições físico-químicas, nos processos diagenéticos e nos fluxos de nutrientes e metais ao longo da IAS dos canais de maré estudados. Durante a estação chuvosa, os valores de salinidade intersticial diminuíram como consequência do aumento da precipitação e da vazão do rio Marapanim, com uma zona de mistura-diluição intensa nos primeiros 15 cm de profundidade. O zoneamento redox dos sedimentos oscilou em resposta aos padrões de chuva, com as maiores concentrações de Fe^{2+} e Mn^{2+} em camadas mais profundas de sedimentos durante a estação seca. Em condições subóxicas, os sedimentos dos canais de maré atuam como uma fonte de Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ e PO_4^{3-} para a coluna de água e esses fluxos foram impulsionados pela chuva. Os resultados indicaram que os sedimentos dos canais de maré dos manguezais de Marapanim são bastante eficazes na retenção de carbono, nutrientes e ferro na fase sólida do sedimento do que na exportação para as águas costeiras, enquanto contribuem significativamente para o ciclo oceânico de Mn. O potencial desses canais de marés para esses elementos está diretamente relacionado à granulometria, às fontes e susceptibilidade de degradação da MO. A variabilidade temporal na formação da pirita revelou que os mecanismos de retenção da fase sólida também são suscetíveis a efeitos sazonais, com menores concentrações de enxofre redutível ao cromo (CRS, principalmente fração pirita) na estação de estiagem. Portanto, mostramos que essas variabilidades sazonais implicam em mudanças substanciais nas propriedades físico-químicas e nos processos diagenéticos, afetando a liberação de metais e nutrientes na IAS e seus acúmulo no sedimento.

Palavras-chave: Diagênese recente. Variação sazonal. Fontes de matéria orgânica. Condições redox. Fluxos difusivos. Água intersticial.

ABSTRACT

In this study, we assessed the potential of intertidal mudflat sediments along mangrove forest to accumulate and export carbon, nutrients (N and P) and metals (Fe and Mn), in addition to examine the influence of the Amazonian seasonal rainfall patterns on the physicochemical conditions, diagenetic processes and exchange of nutrients and metals along the sediment-water interface (SWI) in intertidal mudflats fringed by pristine mangroves. The study was carried out in the Marapanim River estuarine system (northern Brazil), which is fringed by extensive areas of well-developed mangroves, part of the largest continuous and best preserved mangrove forest in the world, located approximately 200 km from west of the mouth of the Amazon River. The results of this work are presented in two articles. The first deals with the potential of stocks and accumulation of COT, NT and PT in intertidal mudflat sediments, in addition we investigate the potential sources of sedimentary organic matter (OM). The second assesses the influence of seasonal rainfall pattern on physicochemical properties, the diagenetic processes and the diffusive fluxes of nutrients at the SWI in the Marapanim mangrove creeks. During wet season the salinity values decreased as a consequence of the increase in rainfall, with a dilution-mixing zone in the top sediment (<15 cm). In the dilution-mixing zone, Fe (III) and Mn (IV) reduction are the dominant anaerobic respiratory processes in the sediments. The redox zonation of sediments oscillated in response to the rainfall patterns, with the highest concentrations of Fe²⁺ and Mn²⁺ in deeper sediment layers during the dry season. Under suboxic conditions, the mudflat sediments act as a source of Fe²⁺, Mn²⁺, NH₄⁺, and PO₄³⁻ to the water column, and these fluxes were driven by rainfall. The results indicated that mangrove-fringed mudflats are quite effective in retaining carbon, nutrients and iron in sediment solid phases than exporting to the coastal waters, while can potentially be a significant contributor to the oceanic Mn cycle. The potential of these mangrove creeks to accumulate these elements is directly related to grain size, sources and susceptibility of OM degradation. In addition, temporal variability in pyrite formation revealed that the solid phase retention mechanisms are also susceptible to seasonal effects, with lower concentrations of chromium-reducible sulfur (CRS, mainly pyrite fraction) during the dry season. Therefore, we show that these seasonal variabilities implied substantial changes of physicochemical properties and the diagenetic processes, affecting the release of metals and nutrients from the SWI and their accumulation in the sediment.

Keywords: Early diagenesis. Seasonal changes. Organic matter source. Redox conditions. Diffusive fluxes. Pore water.



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 CHRISTIENE RAFAELA LUCAS DE MATOS

A banca examinadora da Tese de Doutorado de **CHRISTIENE RAFAELA LUCAS DE MATOS** orientanda do Prof. Dr. Marcelo Cancela L. Cohen (UFPA), composta pelos professores doutores **Paulo César Fonseca Giannini (Membro externo-USP)**, **Luiz Carlos Ruiz Pessenda (Membro externo-USP)**, **José Augusto Martins Corrêa (Membro interno-UFPA)**, **Nils Edvin Asp Neto (Membro interno-UFPA)**, após apresentação da sua tese intitulada “**ACÚMULO E EXPORTAÇÃO DE CARBONO, NITROGÊNIO, FÓSFORO E METAIS EM CANAIS DE MARÉ DOS MANGUEZAIS DE MARAPANIM, COSTA NORTE BRASILEIRA**”, emite o seguinte parecer:

A candidata realizou sua apresentação de forma clara, bem organizada e segura no tempo estipulado. O trabalho escrito foi apresentado na forma de dois artigos, sendo um já publicado e um submetido, ambos em periódicos de impacto internacional. Foram feitas sugestões variadas pela banca que foram acatadas pela candidata que as incorporará em seus futuros artigos. A banca destaca que a candidata demonstrou desempenho extraordinário durante o desenvolvimento da pesquisa bem como na arguição. Diante do exposto, a banca examinadora decide por unanimidade aprovar a tese de doutorado.

Belém, 18 de dezembro de 2020.

Prof. Dr. Marcelo Cancela L. Cohen (Orientador – UFPA)

Prof. Dr. Paulo César Fonseca Giannini (Membro externo-USP)

Prof. Dr. Luiz Carlos Ruiz Pessenda (Membro externo-USP)

Prof. Dr. José Augusto Martins Corrêa (Membro interno-UFPA)

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto (Membro interno-UFPA)