



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 613

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS MANGUEZAIS
DEGRADADOS DE BRAGANÇA, PA, BRASIL, COM BASE
EM IMAGENS DE SATÉLITE E MODELOS DE ELEVAÇÃO
DIGITAL**

Dissertação apresentada por:

SERGIO MAURICIO MOLANO CÁRDENAS

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

M717a Molano-Cárdenas, Sergio Mauricio.
Análise espaço-temporal dos manguezais degradados de
Bragança / Sergio Mauricio Molano-Cárdenas. — 2022.
xiii, 56 f. : il. Color.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Geologia e Geoquímica, Belém, 2022.

1. Manguezal.. 2. Sensoriamento remoto. 3. Modelo digital
de elevação. 4. Aumento do nível do mar. 5. Península de
Bragança. I. Título.

CDD 551.457098115



Universidade Federal do Pará

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DOS MANGUEZAIS
DEGRADADOS DE BRAGANÇA, PA, BRASIL, COM BASE
EM IMAGENS DE SATÉLITE E MODELOS DE ELEVAÇÃO
DIGITAL**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR:

SERGIO MAURICIO MOLANO CÁRDENAS

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Ciências na Área de
GEOLOGIA, Linha de Pesquisa GEOLOGIA MARINHA E COSTEIRA.**

Data de Aprovação: 22 / 02 / 2022

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen
(Orientadora - UFPA)

Prof. Dr. Marlon Carlos França
(Membro – IFPA)

Prof. Dr. José Francisco Berrêdo Reis da Silva
(Membro – MPEG)

Você pode chorar porque ele se foi ou pode sorrir porque ele viveu. Você pode fechar os olhos e orar a Deus para que ele volte ou pode abri-los e ver tudo o que ele deixou; seu coração pode estar vazio porque você não pode vê-lo, ou pode estar cheio do amor que vocês compartilharam. Você pode chorar, fechar a mente, sentir o vazio da sua ausência e virar nas costas, ou pode fazer o que ele gostaria de fazer: sorrir, abrir os olhos, amar e seguir em frente.

David Harkins

Mauricio

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradecer a Deus por ser minha guia e fortaleza durante o tempo todo.

Agradeço aos meus pais Luxora Cárdenas e Mauricio Molano por seu apoio e incondicionalidade na minha educação. Especialmente ao meu pai, que mesmo não estando hoje conosco, seu espírito empreendedor sempre me motiva.

Agradeço muito ao meu orientador o professor Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen, por me dar uma das melhores oportunidades da minha vida, e por todas as indicações e conselhos durante o desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus irmãos Diego e Santiago Molano, pessoas exemplares, inteligentes e aos que devo muito do que eu sou hoje em dia.

Aos meus amigos Diana Cárdenas e Sebastián Gómez, por toda a ajuda e apoio na escrita do artigo desse trabalho. São pessoas incondicionais que admiro e respeito.

Aos professores do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, por todo o conhecimento compartilhado, assim como os ensinamentos que aportaram para o mestrado e para a minha vida. Especialmente aos professores Pedro Walfir, Nils Asp, Afonso Nogueira e Vinicius Kutter.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao Laboratório de Dinâmica Costeira LADIC da Universidade Federal do Pará, pelos equipamentos e computadores necessários para o desenvolvimento desse trabalho.

À Agência Espacial Europeia ESA pelo patrocínio das imagens de satélite utilizadas nesse trabalho.

À minha família, à minha avó Irene Diaz, e meus tios John, Jose e Yaneth, e à minha prima Maira por todo o apoio nesse processo.

Ao pessoal do LADIC, Erika, Fernando, Bettina, Sergio e Neuza, pela amizade, os conselhos, sugestões e a ajuda no desenvolvimento desse trabalho.

Aos meus amigos do PPGG, Andressa, Giordana e Larissa; assim como meus amigos colombianos Kike, Jenny e Mayra por fazer da minha passagem pelo Brasil uma excelente experiência.

À Biblioteca do Geociências-IG pela ajuda nas correções e formatação do documento final.

RESUMO

A Península de Bragança, localizada no litoral norte do Brasil-Pa, é parte da maior zona contínua de florestas de manguezal no mundo. A construção da rodovia PA-458 na década de 70, alterou as características hidrodinâmicas da península, provocando a degradação de uma porção considerável dos manguezais na região central da península. Nas últimas décadas as áreas degradadas têm sido recolonizadas por manguezais, principalmente pela espécie *Avicennia germinans*. Esse estudo pretende identificar mudanças dos manguezais degradados das planícies de maré de setores topograficamente mais elevados durante os últimos 35 anos, com base nas seguintes técnicas: a) mapeamento manual das áreas degradadas com imagens de satélite de resolução espacial moderada; b) classificação orientada a objetos das áreas degradadas e de manguezal, utilizando imagens de satélite de alta resolução espacial; c) fotogrametria de imagens de drone; d) modelos digitais de elevação; e e) validação topográfica com teodolito e “*Antenna Catalyst*”. Entre 1986 e 2019 houve uma redução da área degradada de 247,96 ha, conforme as quantificações dos dados de moderada resolução espacial. Os dados de alta resolução espacial mostraram também uma redução da área degradada de 211,65 ha entre os anos de 2003 e 2019. Existem flutuações na tendência de regeneração das florestas de manguezal na área degradada, as quais tem relação com grandes fenômenos climáticos como “El Niño” e “La Niña”, que vem acompanhados com épocas de estiagem e alta precipitação, respectivamente. Os valores de acurácia global e índice Kappa para os dados de alta resolução exibiram valores acima de 0,9. Os valores da acurácia do produtor, usuário e Kappa por classe evidenciaram dificuldades na separação de espécies de manguezal *Avicennia germinans* e *Rhizophora mangle*, devido à falta de resolução radiométrica das imagens analisadas. O modelo digital do terreno que representa a planície de maré, mostrou duas regiões topograficamente diferenciadas na área degradada, separadas pela rodovia PA-458, e influenciadas principalmente pelas características dos estuários Caeté e Taperaçú. Essa mesma diferença foi encontrada no modelo de altura da vegetação, onde as árvores, localizadas a SE da rodovia e sob influência do estuário do rio Caeté, alcançam até os 25 m, enquanto a NW da rodovia sob influência do Taperaçú, oscilaram entre 5 e 15 m. As taxas de regeneração estão controladas principalmente pelo aumento no nível médio do mar, o qual mobilizou a zona de intermaré para áreas topograficamente mais elevadas, favorecendo a lixiviação salina, essencial para o desenvolvimento de florestas de manguezal.

Palavras-chave: manguezal; sensoriamento remoto; modelo digital de elevação; aumento do nível do mar; Península de Bragança.

ABSTRACT

The Bragança Peninsula occurs at the northern littoral of Brazil, in the state of Pará. It is characterized by the largest continuous mangrove belt in the world. The construction of the PA-458 road in the '70s changed the hydrodynamics of the peninsula, causing the degradation of a considerable portion of the mangroves in the central region of the peninsula. Recently, degraded areas are being colonized by mangrove trees, mainly by the *Avicennia germinans* specie. This study intends to identify changes in the degraded areas of the tidal flats in topographically higher sectors during the last 35 years. To reach that objective, we used the following techniques: a) manual mapping of the degraded areas with mid spatial resolution satellite imagery; b) object-based classification of the degraded areas and mangrove species, using high spatial resolution satellite imagery; c) photogrammetry of drone imagery; d) digital elevation models; and e) topographic validation with theodolite and GNSS GPS “Antenna Catalyst”. From 1986 to 2019, there was a reduction in the degraded areas of 247.96 ha according to the mid-resolution “dataset” quantification. However, high-resolution data showed a reduction in the degraded areas of 211.65 ha between 2003 and 2019. The degraded areas quantification presents fluctuations in the regeneration trend; it is related to significant climatic phenomena such as “El Niño” and “La Niña”, accompanied by periods of drought and high rainfall, respectively. Overall accuracy and Kappa index values for the high-resolution data generally exhibited values above 0.9. Producers’ and users’ accuracy and Kappa per class values showed the difficulties separating mangrove species due to the lack of radiometric resolution of the analyzed images. The digital terrain model representing the tidal flat showed two topographically differentiated regions in the degraded areas, separated by the PA-458 road, which are mainly influenced by the Caeté’s and Taperaçú’s characteristics. This same difference was found in the vegetation height model, where the largest trees are located toward the SE side of the road, reaching 25 m, while at the NW side of the road, the tree heights oscillated mainly between 5 and 15 m. The sea-level rise specifically controls regeneration rates. This relocated the intertidal zone to topographically higher areas, increasing tidal flushing processes, essential for the mangrove forests development.

Keywords: mangrove; remote sensing; digital elevation model; sea-level rise; Bragança Peninsula.