



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

---

**DISSERTAÇÃO Nº 606**

**O SISTEMA EÓLICO DAS BACIAS COSTEIRAS DE SÃO  
LUÍS E BARREIRINHAS, NE DO BRASIL: IMPLICAÇÕES  
CLIMÁTICAS E TECTÔNICAS DURANTE O  
QUATERNÁRIO**

**Dissertação apresentada por:**

**ANTONIO GONÇALVES DA SILVA JUNIOR**

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

**Coorientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr. Anja Sundal (UiO)**

---

**BELÉM-PARÁ  
2021**

**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)**

---

S586s Silva Junior, Antonio Gonçalves da.  
O sistema eólico das bacias costeiras de São Luís e  
Barreirinhas, NE do Brasil : implicações climáticas e tectônicas  
durante o Quaternário / Antonio Gonçalves da Silva Junior. — 2021.  
xiii, 52 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira  
Coorientação: Prof<sup>a</sup>. Dra. Anja Sundal  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,  
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia  
e Geoquímica, Belém, 2021.

1. Dunas costeiras. 2. Sensoriamento remoto. 3.  
Pleistoceno-Holoceno. 4. Neotectônica. 5. Geomorfologia. I.  
Título.

CDD 558.12

---



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

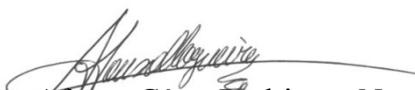
**O SISTEMA EÓLICO DAS BACIAS COSTEIRAS DE SÃO  
LUÍS E BARREIRINHAS, NE DO BRASIL: IMPLICAÇÕES  
CLIMÁTICAS E TECTÔNICAS DURANTE O  
QUATERNÁRIO**

**Dissertação apresentada por**  
**ANTONIO GONÇALVES DA SILVA JUNIOR**

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

**Data da aprovação:** 25 / 10 / 2021

Banca Examinadora:

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

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

  
Prof. Dr. Arnaldo de Queiroz da Silva  
(Membro – UFPA)

*Dedico este trabalho aos meus familiares e amigos.  
Ninguém faz nada sozinho.*

## AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências e Programa de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica pela oportunidade de ingressar em um curso de pós-graduação conceituado, sendo de grande contribuição para meu desenvolvimento profissional. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior -Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Afonso César Rodrigues Nogueira, por ter me guiado nesses últimos dois anos. Foi um período de muito aprendizado e amadurecimento. Obrigado pela atenção e paciência, pelas oportunidades e principalmente por ser um amigo muito legal!

As pesquisadoras da Universidade de Oslo (UiO) Dr<sup>a</sup> Clara Sena e Dr<sup>a</sup> Anja Sundal, que coordenaram os projetos de cooperação UFPA-UiO 2018 – 2020 intitulados: “*Recursos geológicos e desenvolvimento sustentável aprendendo a viver em um planeta finito*” e “*Evolução do Delta do Parnaíba*”. Obrigado pela grande oportunidade de trabalhar em conjunto no Delta do Parnaíba. Foi de grande importância para o entendimento deste trabalho. Anja, takk for tålmodigheten med min rudimentære engelsk. Du var veldig snill. Obrigado aos amigos Sebastian Neita, Afonso Quaresma, Prof. Fábio Domingos e Mauro, pela parceria nessa campanha na costa do Piauí e Maranhão.

Ao meu sempre Orientador e amigo Prof. Dr. Arnaldo de Queiroz por todo apoio até aqui. Não teria chegado nesse ponto sem sua ajuda nos momentos críticos. Espero um dia poder retribuir a altura. Obrigado por tudo e pelo que ainda virá. Ao Laboratório de Ensino e Pesquisa em Geotecnologias (LEPGEO) por todo suporte técnico. Aos amigos de laboratório, Geólogo Msc Osmar Guedes e ao mestrando Matheus Moura. Aos amigos do LAIT, Gustavo, João Paulo, Cowboy e Paulo Alves.

Ao Grupo Análise de Bacias Sedimentares da Amazônia (GSED) por ter me recebido. Em especial aos meus amigos de pós: Argel, Pedro, Lucas, Sanmya, Lohan e Renan. Obrigado também aos professores José Bandeira e Andressa Nogueira.

Agradeço especialmente minha família. Meus pais por todo apoio em mais essa fase da minha formação profissional. Agradeço a minha companheira de todas as dores e alegrias dos últimos 11 anos, Liliane Mendes, por ter me ajudado em mais essa jornada.

A todos que contribuíram direta ou indiretamente para a construção deste trabalho.

## RESUMO

A região entre a Baía de São Marcos, estado do Maranhão e o delta do Rio Parnaíba, estado do Piauí, no litoral nordeste do Brasil é caracterizada por campos de dunas ativos e inativos, formados sob influência dos ventos alísios de NE em um sistema costeiro dominado por ondas e por marés. Neste contexto insere-se os Lençóis Maranhenses — o maior campo de dunas ativo da América do Sul com cerca de 1.026 km<sup>2</sup>, adjacente aos maiores depósitos eólicos inativos registrados no continente, com cerca de 19.000 km<sup>2</sup>. Estes depósitos preenchem principalmente a porção *onshore* da Bacia de Barreirinhas sendo o Lineamento Pirapemas a principal estrutura do embasamento, com direção NE-SW. Dados prévios de gravimetria e sísmica mostram que este lineamento com rejeito normal para NW, tem atuado como modelador do relevo até no Holoceno. Interpretações prévias indicam que variações na umidade, velocidade do vento, cobertura vegetal e nível relativo do mar foram os principais fatores para a origem e preservação dessa sedimentação desde o final do Pleistoceno. Além disso, nossos resultados indicam que eventos de neotectônica ligados ao lineamento controlaram em parte esta sedimentação. O mapeamento das morfologias ativas e inativas deste sistema eólico com base principalmente em produtos de sensoriamento remoto e dados geocronológicos prévios, permitiu inferir estágios evolutivos que culminaram na configuração geomorfológica atual daquela região. A interpretação de imagens de satélite óptico de média/alta resolução espacial (SENTINEL-2 e CBERS-4a) e modelo digital de elevação (ALOS) foram associados a compilação de dados geocronológicos (LOE, C<sup>14</sup> e termoluminescência) para fornecer uma estimativa espaço-temporal que subsidiou a evolução geológica proposta. Os depósitos eólicos são típicos de campo de dunas transgressivo, compreendem uma área de cerca de 20.000 km<sup>2</sup>, onde 12% são morfologias ativas e 88% são morfologias inativas. Os depósitos ativos estão próximos à costa e consistem em barcanas, cordões barcanóides e transversais. Os depósitos inativos estendem-se continente adentro por até 150 km, e são formados por variações de dunas parabólicas, transversais inativas e planícies de deflação. As idades mais antigas sugerem que os campos de dunas possam ter se iniciado há 240 ka. Idades a partir do Pleistoceno superior confirmam sucessivos pulsos de migração e preservação influenciados pelas variações do nível relativo do mar resultante de ciclos glaciais e interglaciais globais do Quaternário. O sistema costeiro-eólico teve sua maior expansão para o sul durante o Último Máximo Glacial (~22 ka) sob condições mais áridas e sua maior preservação ocorreu entre 19 e 14 ka, sob clima úmido em reflexo ao evento Henrich (HS1). No Holoceno, a reativação do Lineamento Pirapemas em regime distensivo gerou um aumento do espaço de acomodação a NW com amplo desenvolvimento dos sistemas costeiros. A porção SE deste lineamento foi soerguida causando

o progressivo abandono e deflação do campo de dunas. Estes dois compartimentos distintos formam a configuração atual dos depósitos eólicos costeiros da porção *onshore* da Bacia de Barreirinhas.

**Palavras-chave:** dunas costeiras; sensoriamento remoto; pleistoceno-holoceno; neotectônica; geomorfologia.

## ABSTRACT

Active and stabilized dune fields, built by NE trade winds in a wave- and tide-dominated coastal system characterizes the region between São Marcos Bay, Maranhão State, and the Parnaíba River Delta, Piauí State, northeastern coast of Brazil. In this context, Lençóis Maranhenses is the largest active dune field in South America with approximately 1,026 km<sup>2</sup>, adjacent to the largest stabilized eolian deposits with about 19,000 km<sup>2</sup> covering basement rocks. These deposits mainly fill the onshore portion of the Barreirinhas Basin, and the NE-SW Pirapemas Lineament represents the main structure of the basement. Previous gravimetry and seismic data show that the NW portion of this lineament is a subsided block that controls the Holocene deposition. The main factors for the origin and preservation of this sedimentation were variations in humidity, wind speed, vegetation cover, and relative sea-level changes since the Pleistocene. Furthermore, the neotectonics events are confirmed and linked to the Pirapemas Lineament reactivation. The mapping of active and inactive morphologies of this eolian system, based mainly on remote sensing products, previous geochronological and field data, allowed us to infer evolutionary stages that culminated in the current relief configuration of the region. The interpretation of medium to high spatial resolution optical satellite images (SENTINEL-2 and CBERS-4a) and digital elevation model (ALOS) were suitable for the compilation of age data (LOE, C14, and thermoluminescence) to provide a spatial- that supported the proposed geological evolution. The eolian deposits are typical of the transgressive dune field, comprising about 20,000 km<sup>2</sup>, of active (12 %) and inactive (88 %) morphologies. The active deposits are close to the coast and consist of barchans, barchanoid and transverse ridges. Inactive deposits migrate inland for up to 150 km and are formed by parabolic dune morphologies, stabilized transverse ridges, and deflation plains. Although the older ages are unrepresentative, it suggests that these dune fields may have started 240,000 BP. The published age concentrations of the Late Pleistocene punctuate successive pulses of migration and preservation influenced by relative sea-level changes triggered from Quaternary glacial and interglacial cycles. Under more arid conditions, the coastal-eolian system had its most landward remarkable expansion during the Last Glacial Maximum (~22,000 BP). At the same time, the most significant preservation occurred between 19,000 and 14,000 BP, under a humid climate reflecting the Heinrich event (HS1). In the Holocene, the normal reactivation to the NW of the Pirapemas Lineament increased the accommodation space with extensive development of coastal systems. The SE region from this lineament was uplifted, causing progressive dune field abandonment and

reworked by deflation. These two distinct compartments form the current configuration of the coastal wind deposits in the onshore Barreirinhas Basin.

**Key-words:** coastal dunes; remote sensing; pleistocene-holocene; neotectonics; geomorphology.