

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor,
o texto completo desta tese será
disponibilizado somente a partir de
06/05/2025.

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus Rio Claro – SP

**GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA DO QUATERNÁRIO DA
PLANÍCIE FLÚVIO-EÓLICA DO MÉDIO RIO SÃO FRANCISCO,
NE DO BRASIL**

LANDERLEI ALMEIDA SANTOS

Orientador: Edgardo Manuel Latrubesse

Rio Claro - SP
2020

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Campus Rio Claro – SP

LANDERLEI ALMEIDA SANTOS

**GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA DO QUATERNÁRIO DA
PLANÍCIE FLÚVIO-EÓLICA DO MÉDIO RIO SÃO FRANCISCO,
NE DO BRASIL**

Tese apresentada ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas do *Campus* de Rio Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutorado em Geociências e Meio Ambiente.

Orientador: Edgardo Manuel Latrubesse

Rio Claro - SP
2020

S237g

Santos, Landerlei Almeida

Geomorfologia e geologia do quaternário da planície flúvio-eólica do médio rio São Francisco, NE do Brasil / Landerlei Almeida Santos.

-- Rio Claro, 2020

123 f. : il., tabs., fotos, mapas

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Edgardo Manuel Latrubesse

1. Geologia geomórfica. 2. Sedimentação e depósitos. 3. Dunas
eólicas. 4. Datação por luminescência. 5. Mudanças climáticas. I.
Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

LANDERLEI ALMEIDA SANTOS

**GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA DO QUATERNÁRIO DA
PLANÍCIE FLÚVIO-EÓLICA DO MÉDIO RIO SÃO FRANCISCO,
NE DO BRASIL**

Tese de Doutorado apresentada ao Instituto
de Geociências e Ciências Exatas do
Campus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”,
como parte dos requisitos para obtenção do
título de Doutor em Geociências e Meio
Ambiente

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Edgardo Manuel Latrubesse- orientador
Nanyang Technological University- Singapore

Prof. Dr. José Cândido Stevaux
UFMS/Três Lagoas (MS)

Prof. Dr. José Eduardo Zaine
IGCE/UNESP/Rio Claro (SP)

Prof. Dr. Maximiliano Bayer
IESA/UFG/Goiania (GO)

Prof(a). Dr(a). Cenira Maria Lupinacci
IGCE/UNESP/Rio claro (SP)

Conceito: Aprovado.

Rio Claro/SP, 06 de maio de 2020

“In memoriam do meu eterno irmão (Landerson)”

AGRADECIMENTOS

Agradeço muito a meus pais (Dona Maria e Sr. Janderlei) pela dedicação e esforço na construção dos alicerces desse longo e audacioso projeto acadêmico e de vida que foi iniciado há algumas décadas. Também agradeço muito a minha querida irmã (Marisol), e irmão (Landerson), que infelizmente não está mais entre nós. Outro pilar fundamental para construção dessa obra foi a minha amada e querida Maura, verdadeira parceira nas horas mais complicadas. O agradecimento a ela, também é estendido para os meus sogros (Dona Elenaura e Sr. Antônio) que sempre estiveram à disposição e na torcida. Impossível concluir esse trabalho sem eles.

A outra base de sustentação desta obra é o Professor e orientador Edgardo Latrubesse. Reforçou inúmeras vezes que o primeiro passo para fazer ciência de verdade é ter liberdade de pensamento, respeitar as instituições e trabalhar firme. Manteve uma verdadeira orientação com questionamentos, muitas vezes duros, fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa. Agradeço muito pelas dicas, principalmente para melhorar a comunicação científica e avançar numa formação científica segura e entender o papel, responsabilidade, de um pesquisador para a sociedade. Além de permitir o desenvolvimento de parte da Tese na excelente *Nanyang Technological University-NTU* em Singapura. Assim, também estendo o agradecimento especial a *Asian School of the Environment-ASE*, *Earth Observatory of Singapore-EOS*, e a todo o “time de pesquisadores” do Prof. Latrubesse.

Agradeço À UNESP, ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente e a CAPES pela concessão da bolsa de doutorado. Tenho muito respeito pela instituição e concluo meu ciclo na UNESP motivado e preparado para os desafios futuros.

Agradeço ao Laboratório Progeologia-UFS, em especial ao Prof. Antônio Garcia, Samuel, Mariana e Lucas pelo suporte técnico em etapas da pesquisa.

Agradeço à equipe da empresa JPMAR, especialmente a Dra. Lourdes, Msc Fabio e a Alexandre pelo grande apoio.

Agradecimento especial para os amigos da região Xique-xique-BA, em especial a meu amigo Railton e familiares que sempre esteve à disposição. Também agradeço à UNEB (*Campus Xique-Xique*), em especial aos Professores Pedro, André e Cícero. Na cidade de Rio Claro, não posso esquecer de agradecer pelo convívio os amigos Rafael, Marly, Flavio, Gabriel, Guedes, Biral, Alan, Irakli e Bruno.

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

“A incerteza foi sempre o chão familiar da escolha”
Zygmunt Bauman

RESUMO

Compreender a evolução paleoclimática do Quaternário na região Nordeste do Brasil (NEB) é parte fundamental para entender como tem funcionado a circulação atmosférica na faixa tropical da América do Sul. Nesse contexto, o campo de dunas eólicas estabilizadas do Médio Rio São Francisco é um “*geoproxy*” de grande potencial principalmente por fornecer informações sobre o comportamento dos paleoventos durante os estágios de formação e desenvolvimento das dunas eólicas presentes nesta região. A magnitude e tipo das dunas arenosas presentes neste campo eólico são características particulares desta área em relação a outros registros eólicos da América do Sul tropical. Assim, o principal objetivo deste trabalho é propor um modelo de organização espacial dos padrões eólicos predominantes, inferir mecanismos de desencadeamento e expansão do campo de dunas, e contribuir com o entendimento paleoclimático do NEB a partir de resultados de datações por luminescência óptica dos principais padrões de dunas eólicas integrados com outros dados proxies da região. Baseado na combinação de métodos de sensoriamento remoto, morfoestratigrafia e datação por luminescência óptica, definimos as unidades morfosedimentares do campo eólico e, secundariamente, da planície aluvial do Rio São Francisco. Devido a pouca informação de subsuperfície, analisamos dados prévios da planície flúvio-eólica com objetivo de entender a estruturação do arcabouço no qual ocorreu a expansão do campo eólico. Usamos mapa prévio derivado de dados de anomalia magnética, descrições de sondagens e imagens de radar para obter evidências da estruturação dessa planície. Revelamos que a planície regional do Médio São Francisco é caracterizada por um padrão alternado de planície de ampla sedimentação e planície restrita (knickzonas). Na mesoescala, mapeamos oito unidades morfosedimentares da planície aluvial: (U1) planície de acreção de bancos, (U2) planície flúvio-eólica, (U3) planície de espiras de meandro, (U4) planície impedida, (U5) planície-ilha laterítica e três níveis de terraços (T1, T2, T3). No campo eólico, identificamos, caracterizamos e mapeamos os principais padrões eólicos: dunas source-bordering, megadunas, dunas parabólicas alongadas (simples e composta), cadeias de dunas parabólicas, rampa arenosa, lençol arenoso com *blowouts* e lençol arenoso marginal. Sequências dunares particulares estão dispostas em três corredores eólicos entre a margem da planície fluvial (área fonte) e a Serra do Estreito (barreira topográfica). As áreas proximais e distais do campo eólico apresentam fortes indicativos da influência morfotectônica regional no padrão eólico. Análises morfosedimentares e geocronológicas sugerem que a formação das megadunas e dunas parabólicas alongadas ocorreram no Pleniglacial Médio. Correlacionamos dados proxys obtidos no campo eólico, com dados prévios de espeleotemas e travertines na mesma região, e demonstramos consistentemente que as megadunas se desenvolveram entre o MIS3 e MIS2. Esse longo período de aridez foi interrompido pela fase pluvial do HS5 e pela pequena fase do HS4. Concluimos que durante o MIS3 ocorreu, na região, o pico mais importante do clima árido e maior intensidade dos ventos.

Palavras-chave: Médio Rio São Francisco, interação eólica-fluvial, campo de dunas eólicas, Quaternário, paleoclima.

ABSTRACT

The paleoclimatic knowledge of the Quaternary period of Northeastern Brazil (NEB) is key to understanding how atmospheric circulation has worked in the tropical zone of South America. In this context, the inactive dune field in the Middle São Francisco River is a “geoproxy” of great potential mainly because it provides information on the behavior of paleowinds during the formation and development stages of the aeolian dunes present in this region. The magnitude and type of sandy dunes present in this dune field are particular characteristics of this area in relation to other wind records in tropical South America. Thus, the main objective of this work is to propose a model of spatial organization of the prevailing aeolian patterns, to infer mechanisms of triggering and expansion of the dune field, and to contribute to the paleoclimatic understanding of NEB from results of dating by optical luminescence of the main patterns aeolian dunes integrated with other proxies data from the region. Based on the combination of remote sensing, morphostratigraphy and optical luminescence dating, were define the morphosedimentary units of the dunefield, and secondarily of the alluvial plain of the São Francisco River. Due to scarcity of subsurface information, we analyzed previous data from the fluvial-aeolian plain in order to understand the structure of the framework in which the expansion of the dunefield occurred. Were used a previous map derived from magnetic anomaly data, sedimentary descriptions and radar images to obtain evidence of the structure of this plain. Thus, it was revealed that the regional plain of the middle São Francisco is characterized by an alternating pattern of plain of wide sedimentation - restricted plain (knickzonas). On the meso-scale, were mapped eight morphosedimentary units of the alluvial plain: (U1) bank accretion plain, (U2) fluvial-aeolian plain, (U3) meandering scrolls plain, (U4) impeded plain, (U5) plain-island lateritic and three levels of terraces (T1, T2, T3). In the dunefield, were identify, characterize and map the main dunes patterns: source-bordering dunes, Megadunes, elongated parabolic dunes (simple and compound), parabolic dune chains, sandy ramp, sandy sheet with blouwouts dunes and marginal sandy sheet. Particular dune sequences are arranged in three aeolian corridors between the margin of the alluvial plain (source area) and Estreito Ridge (topographic barrier). The proximal and distal areas of the dunefield have strong indications of the regional morphotectonic influence on the dune pattern. Morphosedimentary and geochronological analyzes suggest that the formation of elongated Megadunes and parabolic dunes occurred in the Middle Pleniglacial. Were correlate proxies data obtained in the dune field, with previous data from speleothems and travertines in the same region, and consistently demonstrated that the Megadunes developed between MIS 3 and MIS2. This long period of dryness was interrupted by the HS5 rain phase and the small HS4 phase. Thus, concluded that that during MIS3, the most important peak of the arid climate and the highest intensity of winds occurred in the region.

Keywords: Middle São Francisco River, aeolian-fluvial interaction, dune field, Quaternary, paleoclimate.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: (A) Recorte do mapa geológico da região do campo de dunas eólica do Médio São Francisco (modificado de Moraes Rego, 1926); (B) Áreas onde ocorreram desenvolvimento de campo eólico ou mares de areias no final do UMG (modificado de Sarnthein, 1978).	18
Figura 1.2: Resultados das datações realizadas no campo de dunas do Médio São Francisco por Barreto (1996).	19
Figura 1.3: Classificação geomorfológica e resultados e localizações das datações (idades em mil anos) realizadas por Barreto (1996) dispostos sobre um novo MDE baseado em imagens do satélite Alos Palsar (12,5m de resolução).	20
Figura 1.4: Quadro síntese das datações em depósitos eólicos no médio e sub médio São Francisco. No quadro azul, resultados de Barreto (1996). No quadro laranja, idades indicadas por Cabral (2014). No quadro cinza resultados de Ferreira et al. (2013).	21
Figura 2.1: Sondagem rasa no campo eólico. A) Carro apropriado para região; B) Escavação de ~1m de profundidade antes de inserir o tubo amostrador; C) Tubo amostrador inserido a percussão; D) Separação de amostra para datação LOE.	30
Figura 3.1: Mapa de localização da planície eólica-fluvial do Médio São Francisco.	34
Figura 3.2: Mapa geológico da região estudada apresentando as principais unidades litoestratigráficas.	36
Figura 3.3: (A) Modelo de velocidade dos ventos trimestrais do ano de 2017 (modificado ECMWF ERA 5) em escala continental, disponibilizado pelo Climate Change Institute (climaterianalyrzer.org), University of Maine. (B) Gráfico de precipitação e intensidade dos ventos para a região de Xique-Xique (1980-2016) disponível pelo WeatherSparker (weathersparker.com).	40
Figura 4.1: Resultados apresentados por Wang et al (2004) baseados na análise de espeleotemas.....	45
Figura 4.2: Diagrama sumário da distribuição dos táxons e presença de carvão no testemunho estudado por De Oliveira et al. (1999).	46
Figura 4.3: Sumário palinológico e paleoceanográfico de Behling et al. (2000), apresentando as fases úmidas e de influxo de pólen.	47
Figura 4.4: Quadro síntese do paleoclima no nordeste do Brasil baseado em diferentes estudos realizados recentemente na região.	50
Figura 5.1: Mapa de localização da planície aluvial do médio São Francisco. (A) MDE realçando as características regionais da planície, marcada por áreas de planície larga e restritas. (B) MDE da planície flúvio-eólica do médio São Francisco indicando a área da planície mapeada e a localização das sondagens analisadas. (C) MDE mostrando a estruturação da planície na área da planície eólica fluvial. (D) Perfis topográficos transversais característicos no médio Rio São Francisco.	53
Figura 5.2: (a) Imagem Sentinel-2 exibindo a região da planície aluvial investigada e mapeada. (b) Perfil longitudinal do canal do Rio São Francisco na planície	

estudada. Também é apresentado o valor da declividade do perfil (D) e a declividade específica na área de maior mudança da declividade (D"). 55

Figura 5.3: Mapa de caracterização das unidades morfosedimentares do cinturão aluvial do médio Rio São Francisco..... 57

Figura 5.4: (A) Imagem Landsat 5 (falsa cor) mostrando a disposição geral da planície de acreção de bancos. (B e C) Imagens mostrando a variação no padrão dos bancos que constituem a U1. As setas estão indicando o alinhamento erosivo que interpretamos como contato entre unidades. (D e E) Foto, descrição e local de datação LOE de um barranco na unidade de bancos acrescidos. (F) Sedimentação característico no topo dessa unidade, dominado por intercalação de silte e argila. 58

Figura 5.5: Imagens Google Earth e MDE mostrando características da Planície de Interação Flúvio-Eólica. A e B) Reativações eólicas sobre leques aluviais que foram aportados na planície do Rio São Francisco; C e D) Depósitos de planície de inundação e dunas eólicas sobre bancos acrescidos; E, F) lagoas alongadas de canais abandonados e acumulações arenosas retrabalhadas pelo vento..... 60

Figura 5.6: Morfoestratigrafia da Planície de Interação Flúvio-Eólica. (A) Pequenas dunas eólicas na parte central da planície de acreção de bancos. (B) Contato entre os depósitos fluvial e eólico; C) Foto destacando os depósitos interpretados como de barra lateral sobreposto por depósito de planície de inundação na base do depósito; D) Perfil estratigráfico da planície flúvio-eólica..... 61

Figura 5.7: Imagem Landsat 8 mostrando a localização da planície de espiras de meandro caracterizada pela presença de dezenas de lagoas alongadas..... 62

Figura 5.8: (A) Imagem Sentinel-2 exibindo a larga planície impedida a montante de Xique-xique. (B) Mapa geomorfológico apresentando apenas as subunidades da planície impedida na área da imagem Sentinel. Nesse mapa é apresentado elementos que foram mapeados na escala de detalhes utilizando imagens (PlanetScope). (C e D) Perfis topográficos esquemáticos de dois setores da planície impedida; (C) Perfil representativo da área dominado por pântano e canais de planície, e (D) Perfil da área dominada por canais deltaicos, ilustrando a conexão dos diques de canais de planície e formação de lagoas rasas. 64

Figura 5.9: Áreas representativas dos subambientes da planície impedida. Imagens Landsat 8, falsa cor (A-D). (A) Área característica da subunidade dominada por pântano e canais de planícies. Também é destacado a presença de inúmeros bancos de migração lateral dos canais característica particular dessa subunidade. (B) Subunidade dominada por canais deltaicos. Uma verdadeira rede de canais que avançaram sobre uma planície pantanosa e formaram lagos por conexões dos diques, o que contribui para acelerar o processo de aggradação da planície; (C) Área de interação das subunidades dominada por canais deltaicos e dominada por pântano. É notável o avanço e espraiamento da frente dos canais deltaicos sobre a planície pantanosa de pequenos bancos; (D) dominada por canal tributário. (E) Imagem PlanetScope mostrando feições de bancos antigos que tem sido dissecada por canais mais jovens..... 65

Figura 5.10: Exemplo da resposta da planície impedida durante o evento de cheia. (A) Registro de inundação da planície impedida durante evento de cheia que ocorreu em janeiro de 2007 a partir de imagem Landsat 5, falsa cor (R7G4B2). (B) Destaca as características exibidas pela planície na maior parte do ano no mês de março de 2007..... 66

Figura 5.11: Barranco da unidade da Planície-Ilha laterítica. A) Visão geral do afloramento analisado; B) Perfil estratigráfico; C) Imagem da laterita em nódulos, identificada na base do barranco; D) Intercalação de areia quartzosa grossa e areia média em sets de aproximadamente 30cm. 67

Figura 5.12: Sondagens da região da planície flúvio-eólica do médio São Francisco. (a) Sequência de sondagens dispostas relativamente paralela ao canal principal, de montante para jusante (localização na Fig. 5.1b). A partir das sondagens destacamos a forte variação da profundidade do embasamento rochoso, a sedimentação basal interpretada como depósitos de leques aluviais, e, no topo, uma boa correlação lateral interpretada como depósitos do sistema flúvio-eólico. (b) seção transversal indicando a variação de depósitos de leques aluviais na margem direita do Rio São Francisco, e prováveis depósitos lacustres na margem oposta. (c) Domínio de depósitos de leques aluviais na margem esquerda. 69

Figura 6.1: MDE mostrando o contexto regional do campo eólico do médio São Francisco apresentado num MDE. Adicionalmente uma seção topográfica (Y-Y') que mostra claramente as diferenças altimétricas entre as principais superfícies regionais. 75

Figura 6.2: Evidências da estruturação da planície flúvio-eólica em subsuperfície. (a) Lineamentos de subsuperfície traçados sobre mapa de magnetometria de Amplitude do Sinal Analítico (modificado da CPRM,2019). (b) MDE sobreposto por lineamentos e mapa derivado de magnetometria MDE. (c) Sondagens da planície aluvial indicando a redução da profundidade do embasamento rochoso entre as sondagens C-35, C-47 e C-51. Excelente correlação com área da planície em que exibe uma maior anomalia magnética. (d) Sondagens mostrando variação no tipo de sedimentação 76

Figura 6.3: Caracterização geomorfológica (a) Mapa em larga escala das principais unidades da região da planície flúvio-eólica do médio São Francisco. Também mostra a compartimentação do campo eólico nos corredores de expansões principais. (b) Mapa geomorfológico dos principais padrões eólicos no campo de dunas do médio São Francisco. Adicionalmente unidades que representam os limites do campo eólico. (c) Seções topográficas representativas dos diferentes corredores eólicos e sequência dos tipos de dunas predominantes. 79

Figura 6.4: Características das dunas source-bordering. (a) MDE da unidade de duna source-bordering no CE-2. (b) Imagem combinada do MDE e mapa de anomalia magnética apresentando boa correlação nos setores mais elevados da duna source-bordering e maiores índices de anomalia. (c) MDE da duna source-bordering do CE-3. (d) Imagem combinada (MDE-mapa de anomalia magnética) mostrando que os locais onde afloram cristas rochosas elevadas tem correspondência com alto índice magnético. (e) seção topográfica da duna source-bordering do CE-2. (f) seção topográfica da source-bordering no CE-3. 81

Figura 6.5: Características das Megadunas parabólicas. (a) MDE da zona central do CE-2, destacando a variação no tipo de duna parabólica; (b) Perfil topográfico representativo de uma Megaduna que exibe a claramente a superimposição de dunas menores sobre a duna principal e que tendem a aumentar as dimensões à medida que se aproxima da crista. (c) Dados da frequência do comprimento de megadunas bem preservadas; (d) Histograma mostrando a altura preservada nas megadunas parabólicas..... 84

Figura 6.6: Gráfico mostrando a relação de altura e comprimento entre as dunas parabólicas alongadas e megadunas parabólicas (A) e a relação comprimento e largura no gráfico (B). 85

Figura 6.7: Dunas parabólicas alongadas. (a/b) MDE destacando os tipos de parabólicas alongadas identificadas (simples e compostas); (c) MDE mostrando o predomínio de duna parabólica composta na zona em que o CE-3 está em contato com o CE-2; ((d) (a) MDE realçando geoformas adquiridas por dunas parabólicas alongadas que foram dissecadas na margem do corredor em que está em contato com a planície do rio Pimenteiras; (f) Imagem PlanetScope (3m de resolução) de uma duna parabólica composta no CE-3; (g) Histograma mostrando a frequência do comprimento das dunas analisadas; (h) Histograma mostrando a relação comprimento/largura utilizado para caracterizar as dunas parabólicas alongadas.. 86

Figura 6.8: (a) MDE mostrando a superfície plana e extensa do lençol arenoso marcado por relevos mais elevados ou negativos gerados pelo processo de formação de dunas blowouts. (b) Perfil topográfico de uma elevada duna blowout, no qual a bacia de deflação funciona como uma lagoa temporária em períodos de chuva. (c) Perfil topográfico de uma duna blowout pouco expressiva no relevo. 88

Figura 6.9: Evidências de controle morfotectônico na zona distal do campo eólico. (a) Imagem combinada (MDE e mapa de anomalia magnética), destacando o paralelismo dos lineamentos na porção distal do campo eólico. (b) Imagem Google Earth destacando a concentração de dunas parabólicas alongadas numa faixa entre lineamentos; (c) Imagem Google Earth de uma área com cadeias de dunas parabólicas dissecadas. (d) Imagem de radar Alos Palsar revelando uma estruturação perpendicular (setas) a direção de expansão do campo eólico que tem excelente combinação com os lineamentos indicados na zona distal (e). 90

Figura 6.10: MDE apresentando a localização das descrições sedimentares e datações por luminescência optica. (a) Descrições sedimentares das sondagens realizadas em diferentes unidades do campo eólico. (b) Perfil topográfico representativo com localização das descrições e datação, destacando idades obtidas nas Megadunas. (c) Perfil topográfico regional com várias datações, destacando a idade do lençol arenoso e as idades das Megadunas. 93

Figura 6.11: Afloramento de depósitos flúvio-eólicos às margens do Rio São Francisco. (a) Imagem Google Earth da área onde foi levantada a seção (Dunas da Geleia). (b) MDE mostrando o contexto geomorfológico do afloramento. (c) MDE mostrando que dunas foram ativadas num contexto de um pequeno leque aluvial na margem do campo eólico. (d) Imagem geral do afloramento investigado. (e) Seção estratigráfica da área das Dunas da Geleia. (h) área marginal do afloramento caracterizada pelo truncamento de depósito fluvial e eólico. (f) Sets centimétricos de areia fina depositada em ambiente fluvial. (g) depósito fluvial argilo-arenoso coberto por areias eólicas; (h) truncamento de depósito eólico e fluvial. 95

Figura 6.12: Seções de geofísica rasa (GPR) da unidade de cadeias de dunas parabólicas dissipadas, interpretadas. (A) sísmica rasa de uma duna dissipada. Foram identificadas 3 superfícies bem definidas e datadas à unidade do topo (BA-01). (B) sísmica rasa de uma duna na qual identificamos 3 superfícies e foram controladas com descrição sedimentar e datação (BA-02a e BA-02b). (C/D) Imagem Google Earth mostrando a localização das seções sísmicas. 97

Figura 6.13: Caracterização detalhada da relação morfosedimentar e cronológica entre as Megadunas e o lençol arenoso. (a) MDE apresentando localização da porção do lençol eólico e megadunas datados. (b/c) Imagens Google Earth mostrando características locais das Megadunas XX-04 e XX-5 e suas respectivas descrições sedimentares. (d) MDE apresentando a localização topográfica do perfil topográfico (e). (e) Perfil topográfico de uma porção central do CE-1 que é representativo em termos de organização morfosedimentar..... 99

Figura 7.1: Correlação entre as datações (LOE e TL) do campo eólico do Médio São Francisco e registros cronológico e paleoclimático de espeleotemas e travertinos do último Glacial-Holoceno na região 107

Figura 8.1: Representação esquemática dos corredores eólicos e principais padrões de dunas. Adicionalmente é ilustrado o compartimento do cinturão aluvial do Rio São Francisco que funcionou como área fonte de expansão do campo eólico. 112

SUMÁRIO

Capítulo 1 : INTRODUÇÃO	16
1.1 Contexto da Tese: Expansão de depósitos eólicos no Quaternário	16
1.2 Relevância do campo de dunas inativo do Médio São Francisco	17
1.3 Reconstrução paleoclimática do Nordeste do Brasil.....	22
1.4 Objetivos	22
1.5 Estrutura da Tese.....	23
Capítulo 2 : MÉTODOS.....	26
2.1 Introdução.....	26
2.2 Análise e interpretação de dados prévios.....	27
2.3 Mapeamento geomorfológico: Sensoriamento remoto e trabalhos de campo	28
2.4 Geofísica Rasa: GPR (<i>Grand Penetration Radar</i>).....	29
2.5 Morfoestratigrafia: Sondagens e descrição de afloramento	29
2.6 Geocronologia: Luminescência Óptica Estimulada (LOE).....	31
Capítulo 3 : CARACTERIZAÇÃO REGIONAL.....	34
3.1 Área de estudo	34
3.2 Contexto geológico	35
3.3 Geomorfologia regional	37
3.4 Evolução morfológica e início da sedimentação eólica e aluvial no médio São Francisco.....	38
3.5 Condição Climática atual	39
3.6 Vegetação	42
Capítulo 4 : EVIDÊNCIAS DO PALEOCLIMA DO QUATERNÁRIO NO NORDESTE DO BRASIL	44
4.1 Introdução.....	44
4.2 Pleistoceno tardio	45
4.3 Holoceno inferior.....	48
4.4 Holoceno médio	49
4.5 Holoceno tardio	49
4.6 Considerações finais.....	50
Capítulo 5 : CARACTERIZAÇÃO MORFOSEDIMENTAR DA PLANÍCIE ALUVIAL DO MÉDIO RIO SÃO FRANCISCO	52
5.1 Introdução	52
5.2 Características do cinturão aluvial.....	54
5.3 Classificação das unidades morfosedimentares	56
5.3.1 Planícies de interação direta com o canal principal	58
5.3.2 Planícies complexas e temporárias	63

5.4 Dados de subsuperfície da planície aluvial	68
5.5 Considerações finais.....	70
Capítulo 6 : GEOMORFOLOGIA E GEOCRONOLOGIA DO CAMPO EÓLICO DO MÉDIO SÃO FRANCISCO	73
6.1 Introdução	73
6.2 Arcabouço geológico da planície flúvio-eólica do Médio São Francisco.....	75
6.3 Corredores eólicos.....	77
6.4 Padrões eólicos	80
6.4.1 <i>Source-bordering Dunes</i>	80
6.4.2 <i>Megadunas</i>	82
6.4.3 <i>Dunas parabólicas alongadas</i>	85
6.4.4 <i>Lençóis arenosos com dunas Blowout</i>	87
6.4.5 <i>Rampas arenosas, Cadeia de dunas parabólicas dissipadas e lençol arenoso</i>	89
6.5 Datações LOE.....	89
6.6 Morfoestratigrafia e Cronologia.....	92
6.6.1 <i>Sistema flúvio-eólico: Terraço aluvial e dunas Source-bordering</i>	92
6.6.2 <i>Megaconstruções eólicas e lençol arenoso na porção interna do campo eólico</i>	94
Capítulo 7 : DISCUSSÕES	101
7.1 Implicações da inconformidade paleotopográfica no sistema flúvio-eólico.	101
7.2 A planície fonte do campo eólico	102
7.3 Desenvolvimento das dunas <i>Source-bordering</i> e a expansão dos corredores	103
7.5 Correlações de proxy: alternância dos períodos úmido e seco	104
7.6 Paleoclima e o que a história não revela das dunas eólicas.....	106
Capítulo 8 : CONCLUSÕES	111
REFERÊNCIAS.....	114

CAPÍTULO 1

Capítulo 1 : INTRODUÇÃO

1.1 Contexto da Tese: Expansão de depósitos eólicos no Quaternário

Extensos campos eólicos continentais são arquivos morfosedimentares com grande potencial de indicar mudanças paleoclimáticas e paleoambientais que ocorreram ao longo do período Quaternário. As expansões das áreas áridas e, concomitantemente, intensificação da atividade eólica no planeta ocorreram nos estágios glaciais (GOUDIE, 2003; HESSE 2010; LANCASTER, 2013; NANSON *et al.*, 1992b; RODRÍGUEZ-LÓPEZ *et al.*, 2014; SARNTHEIN, 1978; STOKES *et al.*, 1997; WASSON, 1988).

Diversos modelos de expansão dos depósitos eólicos têm revelado condições ambientais, climáticas e biogeográficas que favoreceram a atuação de mecanismos que disponibilizaram os sedimentos, e a forma como eles foram deflacionados, transportados e depositados (KOCUREK, 1998; KOCUREK e LANCASTER, 1999; NANSON *et al.*, 1992a; TSOAR *et al.*, 2004; YIZHAQ *et al.*, 2009). Também tem permitido inferir a direção dos paleoventos responsáveis pela formação das dunas, fundamentais para entender o funcionamento da circulação atmosférica no Quaternário.

Pesquisas sobre a expansão de desertos arenosos têm contribuído significativamente nas reconstruções paleoclimáticas da África, Austrália, América do Norte e Ásia (BRISTOW *et al.*, 2007; FITZSIMMONS *et al.*, 2007; HESSE, 2011; HESSE, 2016; JUYAL *et al.*, 2006; LANCASTER *et al.*, 2002; KOCUREK *et al.*, 2007; NANSON *et al.*, 1992, 1995; SINHA *et al.*, 2012; STOKES *et al.*, 1997). Na América do Sul, embora os mares de areias e campos eólicos apresentem interessantes particularidades quanto as geoformas, além de mostrar fortes indicativos de correlação cronológica com outros desertos arenosos do Hemisfério Sul (LATRUBESSE, 2003; MUNYIKWA, 2005; TRIPALDI e ZARATÉ, 2016), o registro de atividade eólica ainda permanece pouco investigado.

Alguns dos estudos no continente (LATRUBESSE, 2003; LATRUBESSE *et al.*, 2012; SINHA *et al.*, 2012) têm sugerido que a atividade eólica nas grandes planícies sul-americanas, como os Lhanos do Orinoco, Chaco e Pampas, ocorreu de forma episódica ao longo da última glaciação (MIS4 até MIS2). Embora, ainda haja uma grande necessidade de pesquisas que integrem análises geomorfológica, estratigráfica e geocronológica para uma compreensão mais sólida do desenvolvimento eólico continental (TRIPALDI e ZARATÉ, 2016).

No Brasil, os estudos de depósitos eólicos avançaram consideravelmente na região costeira (BARBOSA, 1997; GIANNINE, 2007; TSOAR *et al.*, 2009; TOMAZELLI, 1990 e outros). Alguns mostraram que o desenvolvimento eólico tem ocorrido desde o

Pleistoceno Médio. Por exemplo, a formação de campos de dunas no litoral do Rio Grande do Norte (BARRETO *et al.*, 2004) e nos Lençóis Maranhenses (GUEDES, 2004).

No interior continental, a expansão eólica tem sido associada principalmente a grandes planícies aluviais, como nas planícies amazônicas, no Rio Branco (Carneiro Filho e Zinck, 1994; Latrubesse e Nelson, 2001; Teeuw e Rhodes, 2004) e Rio Negro (Iriondo e Latrubesse, 1994; Carneiro Filho *et al.*, 2002), no Pantanal (Clapperton, 1993), na planície do alto Rio Paraná (Parolin e Stevaux, 2006; Stevaux, 2000) e no médio Rio São Francisco (Tricart, 1974; Barreto, 1996; Barreto *et al.*, 1999; De Oliveira *et al.*, 1999). No geral, essas planícies fluviais têm sido entendidas como principais áreas fontes de sedimentos dos depósitos eólicos. Entretanto, ainda permanecem relativamente escassos os estudos eólicos a partir de uma perspectiva de investigação geomorfológica e geocronológica que integre dados dos depósitos eólicos e das planícies aluviais aos quais estão associados.

1.2 Relevância do campo de dunas inativo do Médio São Francisco

O campo de dunas desenvolvido na região do Médio Rio São Francisco é o maior registro eólico continental do Brasil. Ocupa uma área de ~8000km² e exhibe, predominantemente, padrões eólicos de grandes dimensões que são incomuns em campos eólicos e mares de areias no interior continental. Denominado de “*Pequeno Saara*” (WILLIAMS, 1925 *apud* BARRETO, 1999) e, mais recentemente, de “*Paleodeserto de Xique-xique*” (AB’SABER, 2006) e de “*Mar de Areia do médio São Francisco*” (BARRETO, 1996), tem sido citado desde o início do século XX (WILLIAMS, 1925).

Moraes Rego (1926) apresentou o primeiro mapa geológico da região do Médio São Francisco (Fig. 1.1a), no qual classificou os depósitos eólicos e aluviais como parte da Formação Vazante, originados no período Quaternário. Somente a partir dos trabalhos de Tricart (1974), Sarnthein (1978) e Clapperton (1993) é que o campo eólico do Médio São Francisco passou a ser reconhecido na literatura internacional como um importante registro de alastramento das áreas desérticas da América do Sul no último estágio glacial (Figura 1.1b). Numa recente revisão global, Lancaster (2007) inseriu o campo eólico do Médio São Francisco num mapa dos principais mares de areia de baixa latitude do mundo.

Aspectos geomorfológicos e inferências paleoclimáticas do campo de paleodunas do Rio São Francisco têm sido discutidos por diversos autores (AB' SABER, 2006; DE OLIVEIRA *et al.*, 1999; DOMINGUES, 1948; KING, 1956; TRICART, 1974). Todavia, somente a partir de Barreto (1996), foram obtidas as primeiras informações geocronológicas. A autora realizou dezenas de datações pelo método de Termoluminescência (TL) e revelou indicativos de atividade eólica no Pleistoceno tardio. Embora, grande parte dos resultados estivessem concentrados no Holoceno tardio (Fig. 1.2).

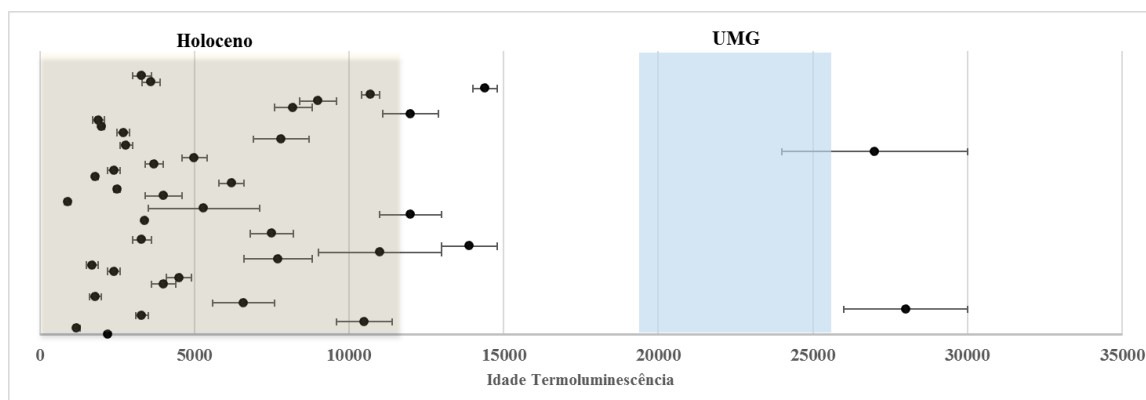


Figura 1.2: Resultados das datações realizadas no campo de dunas do Médio São Francisco por Barreto (1996).

Na figura 1.3 é apresentado um modelo de elevação de terreno do campo eólico do Médio São Francisco com a localização das datações e a classificação dos cinco domínios geomorfológicos propostos por Barreto (1996). A partir de dados de geofísica rasa (sondagens elétricas verticais), também foi interpretada a espessura do depósito eólico (50 a 150m).

Barreto *et al.* (1996) propôs três episódios de formação das dunas: (i) o primeiro entre 28 e 15ka AP, com a geração das dunas parabólicas mais expressivas, compostas, alongadas e orientadas de SE para NW; (ii) o segundo, entre 9 e 4ka AP, com formação das dunas superimpostas e digitadas, diferentes do episódio anterior, devido à variação dos ventos entre E e SE para W e NW; (iii) o terceiro ocorreu entre 4ka e 900 AP, intervalo de maior concentração das datações, com dunas parabólicas aninhadas e alongadas e ventos de SE para NW.

Datações por luminescência óptica (LOE) realizadas por Ferreira *et al.* (2013) e Cabral (2014) em restritos depósitos eólicos às margens da planície do Rio São Francisco, a jusante do campo eólico estudado, indicaram que as atividades eólicas na bacia do São Francisco devem ser mais velhas do que as idades apresentadas por Barreto (1996). O

A significância do campo eólico do Médio Rio São Francisco também pode ser ressaltada devido à interação com uma das maiores planícies aluviais do continente. O cinturão aluvial na região em que desenvolveu o campo eólico exibe expressiva largura e características geomorfológicas complexas no segmento em que ocorre a interação. Portanto, uma investigação do campo eólico, somado a uma análise morfosedimentar da planície aluvial do Rio São Francisco, podem contribuir substancialmente nas interpretações da formação das dunas eólicas da região.

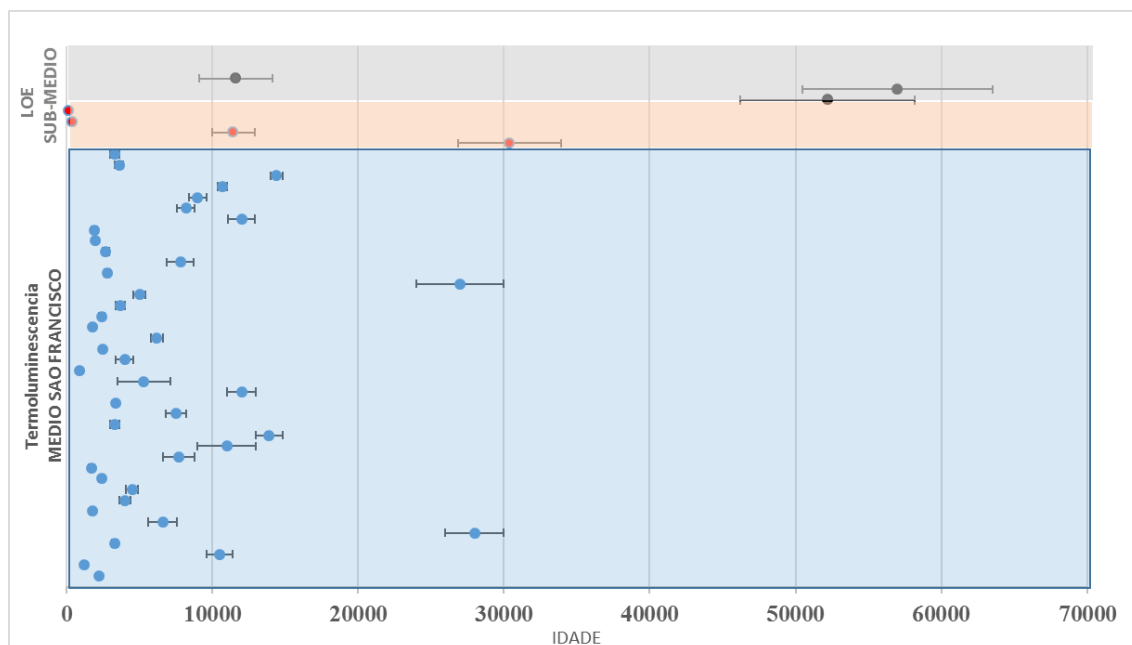


Figura 1.4: Quadro síntese das datações em depósitos eólicos no médio e sub médio São Francisco. No quadro azul, resultados de Barreto (1996). No quadro laranja, idades indicadas por Cabral (2014). No quadro cinza resultados de Ferreira et al. (2013).

Nas últimas décadas, tem crescido o interesse por pesquisas de interação flúvio-eólico (AL-MASRAHY e MOUNTNEY, 2015; HOLLANDS *et al.*, 2006; MAROULIS *et al.*, 2007; NANSON *et al.*, 1995 e outros). No geral, tem mostrado que em áreas onde ocorreu interação entre esses sistemas, os processos eólicos predominaram em fases áridas e os fluviais em intervalos de maior umidade. Em contraste, estudos mais recentes (FITZSIMMONS *et al.*, 2012; LATRUBESSE *et al.*, 2012) têm sugerido que a interação flúvio-eólica ocorreu principalmente em intervalos de maior sazonalidade climática.

Portanto, examinar em profundidade a geocronologia do campo eólico e explorar a planície aluvial do Rio São Francisco, controlando a geomorfologia e morfoestratigrafia, representa uma importante etapa para as pesquisas atuais na região estudada. Assim, poderão ser obtidos significantes dados para reconstrução

paleoclimática da região Nordeste do Brasil (NEB) e de grande significância para o conhecimento Quaternário da América do Sul tropical.

1.3 Reconstrução paleoclimática do Nordeste do Brasil

Reconstruções paleoclimáticas da América do Sul têm considerado a NEB como área chave para o avanço do conhecimento sobre o funcionamento da circulação atmosférica continental (STRIKIS, 2018; STRIKIS *et al.*, 2015). Nos últimos anos, registros isotópicos de espeleotemas têm sido o principal proxy usado para reconstruções paleoclimáticas numa escala regional e até mesmo postulado para a circulação climática numa escala continental. Entretanto, como claramente revelado por Wang *et al.* (2004), no bioma Caatinga do semiárido do NEB, baixa precipitação e alta evapotranspiração opõem o desenvolvimento de espeleotemas e travertinos. Os autores também concluíram que num período 210ka AP, mais de 90% do tempo a região NEB foi submetido a condições áridas.

A verdade é que a maioria das discussões recentes sobre reconstruções paleoclimáticas na América do Sul tropical são baseadas em espeleotemas, secundariamente, em amostras sedimentares lacustres (palinologia e paleolimnologia). Enquanto isso, outros resultados pertinentes, gerados pela geologia do Quaternário, geomorfologia, paleontologia de vertebrados e outros campos, têm sido basicamente ignorados.

Porém, as questões paleoclimáticas que ainda permanecem sem respostas claras para NEB são um exemplo das limitações que decorrem da confiança em um único proxy para reconstrução paleoambiental e paleoclimáticos. A aridez tem sido a principal limitação, impedindo o desenvolvimento de registros de espeleotemas contínuos que contemplem todo o Último Glacial e o Holoceno. Nesse caso, entendemos que o campo de dunas eólicas do Médio São Francisco é crucial para ajudar a explicar transformações paleoambientais durante os intervalos de aridez. Além disso, tem grande potencial para fornecer evidências sobre o padrão de circulação atmosférica que ocorreu durante o Quaternário da América do Sul.

1.4 Objetivos

O principal objetivo desta tese é discutir os fatores e mecanismos que governaram a formação e expansão do campo eólico as margens da planície do médio Rio São Francisco. Neste contexto, ampliar o conhecimento geocronológico do campo de dunas e propor uma discussão paleoclimática do NEB baseado na integração de dados

multiproxies. Secundariamente, caracterizar as principais unidades da planície aluvial do Rio São Francisco na faixa de interação com o campo eólico. Assim, as etapas específicas do trabalho consistem em:

- a. Investigar e mapear (mesoescala) os diferentes padrões de dunas presentes no campo eólico e na planície aluvial do Médio Rio São Francisco. Adicionalmente, em larga escala examinar dados prévios de subsuperfície da planície flúvio-eólica.
- b. Realizar descrição morfoestratigráfica em afloramentos e a partir de testemunhos rasos, tanto no campo eólico, e secundariamente na planície do Rio São Francisco. Além de realizar aquisição e interpretar seções de geofísica rasa do campo eólico.
- c. Realizar datações por Luminescência Óptica Estimulada (LOE) em amostras de diferentes unidades do campo eólico e da faixa de interação flúvio-eólica.
- d. Elaborar um quadro multi-proxys da região do Médio São Francisco, para correlacionar resultados das novas datações por LOE no campo eólico, e dados de espeleotemas de relevantes estudos prévios.

1.5 Estrutura da Tese

A tese está organizada em oito capítulos. O primeiro contextualiza o tema central da pesquisa, baseado em importantes estudos em depósitos eólicos e de interação flúvio-eólica do período Quaternário em diversas partes do mundo. Também é apresentada uma síntese do conhecimento atual acerca do campo eólico estabilizado do Médio São Francisco e a sua significância paleoclimática para América do Sul.

O segundo capítulo apresenta as estratégias metodológicas que foram utilizadas para investigar o campo eólico e a planície do Rio São Francisco. Nesse, são apresentadas as referências utilizadas para sustentar a classificação de diferentes padrões identificados no campo eólico e na planície aluvial. Além disso, são detalhados os métodos de sensoriamento remoto, geoprocessamento, morfoestratigrafia, geocronologia e geofísica rasa que foram utilizados.

No capítulo 3, apresentamos a caracterização geral da área estudada, nas quais são exibidos os aspectos mais relevantes do arcabouço geológico, o contexto geomorfológico, o funcionamento do sistema climático atual, as características hidrológicas e da vegetação da região estudada. Na caracterização do clima regional, são destacados os dados de intensidade e direção dos ventos nas últimas décadas.

O capítulo 4 é voltado a uma síntese dos principais trabalhos que abordaram as questões paleoclimáticas e paleoambiental no NEB. A elaboração de um quadro paleoclimático foi baseada na análise das interpretações e hipóteses apresentadas em estudos sedimentológicos, geomorfológicos, paleontológicos, bem como resultados geocronológicos anteriores ao longo das margens do Rio São Francisco.

No capítulo 5, são apresentados os resultados e considerações sobre o mapeamento e caracterização das diferentes unidades geomorfológicas encontradas no cinturão aluvial do Rio São Francisco que interage com o campo de paleodunas. Ademais, apresentamos uma provável hierarquia dos principais ambientes de sedimentação que construíram a complexa planície fluvial.

O capítulo 6 aborda o tema central da tese. Resultados obtidos a partir da investigação detalhada dos padrões eólicos preservados a partir de uma combinação de técnicas de geoprocessamento, sensoriamento remoto, geofísica rasa, morfoestratigrafia e geocronologia. Em adição, analisamos e correlacionamos dados prévios para ajudar na compreensão do arcabouço do sistema flúvio-eólico do Médio São Francisco.

No capítulo 7, são discutidos os principais temas propostos pela tese. As discussões foram separadas em temas como: a influência do arcabouço flúvio-eólico e a sedimentação prévia, o desenvolvimento dos principais padrões eólicos e as evidências de organização morfoestratigráficas do campo, a significância do mapeamento geomorfológico e as evidências paleoclimáticas e paleoambientais fornecidas pelos novos dados cronológicos.

Por fim, no capítulo 8, apresentamos as principais conclusões da tese e sugerimos temas específicos para testar novas hipóteses e ampliar o conhecimento sobre o campo eólico.

Capítulo 8 : CONCLUSÕES

O campo de dunas estabilizadas do Médio São Francisco é um dos maiores registros eólicos continentais da América do Sul tropical. Diferentes tipos de dunas identificadas exibem grandes dimensões e em muitos locais representam as maiores elevações de dunas parabólicas já identificadas na América do Sul (à leste da cadeia Andina). É um campo dominado por superimposição de dunas. Representa um dos mais importantes proxys paleoclimáticos do NEB para investigação dos últimos 100ky AP.

A análise de macroescala sugere que o contexto paleotopográfico regional da planície flúvio-eólica teve papel importante na organização espacial de alguns padrões eólicos. A expansão do campo eólico ocorreu numa zona em que o sistema de interação flúvio-eólico está instalado num contexto no qual o paleorelevo rochoso está próximo à superfície e relativamente plano. Na porção distal, o campo eólico tem uma estruturação morfotectônica que pode estar relativamente mais elevada que a parte central do campo. Isso provavelmente condicionou o desenvolvimento de cadeias de dunas parabólicas e concentração de dunas na poção distal.

A partir da caracterização do cinturão aluvial também sugerimos que o tipo de planície que serviu de área fonte do campo eólico deve ter sido de acreção de bancos, constituída predominantemente por areia fina. Esse tipo de planície foi formado numa área em que o padrão multicanal contribuiu para manter sempre uma planície ativa com abundantes sedimentos arenosos, constituída predominantemente por depósitos de barras fluviais. Assim, sob as condições climáticas adequadas, a planície arenosa disponibilizou sedimentos para retrabalhamento eólico com facilidade.

Na mesoescala, as principais conclusões alcançadas a partir das investigações morfosedimentares e cronológicas estão destacadas nos itens abaixo:

- (1) As características apresentadas pela distribuição espacial dos principais tipos eólicos sugerem que o campo eólico do Médio São Francisco teve seu principal desenvolvimento relativamente organizado em três corredores preferenciais.
- (2) A caracterização morfométrica das dunas source-bordering mostraram que essas superam mais de 100m de altura em vários locais. Assim, representam as mais elevadas dunas já identificadas em campos eólicos e mares areias continentais da América do Sul, à leste dos Andes. No entanto, essas edificações eólicas podem ter atingido grandes dimensões devidas sobreposição de um paleorelevo elevado.

- (3) Megadunas, que ocorrem predominantemente na porção central do campo eólico, representam construções por superimposição dunares que teve seu principal desenvolvimento durante o Pleniglacial Médio.

FIGURA RESTRITA A PEDIDO DO AUTOR

**DISPONIBILIZAÇÃO A PARTIR
DE 06/05/2022.**

Figura 8.1: Representação esquemática dos corredores eólicos e principais padrões de dunas. Adicionalmente é ilustrado o compartimento do cinturão aluvial do Rio São Francisco que funcionou como área fonte de expansão do campo eólico.

- (1) As cadeias de dunas parabólicas representam a unidade das dunas eólicas mais velhas com morfologia preservadas.
- (2) A correlação dos resultados cronológicos do campo eólico e dados de espeleotemas e travertines demonstraram que as megadunas se desenvolveram entre o MIS 3 e MIS2. Esse longo período de aridez foi interrompido pela fase pluvial do HS5 e pela pequena fase do HS4. Concluimos que durante o MIS3

ocorreu na região o pico mais importante do clima árido e maior intensidade dos ventos.

- (3) Retrabalhamentos eólicos continuaram no período Holoceno (Barreto, 1996) e continuam no presente associado não ao clima da região, mas as interferências humanas e a susceptibilidade da região, principalmente nas margens onde tem ocorrido erosão o pelo canal do Rio São Francisco.

Em conclusão, a abordagem combinada de dados multiproxies realizada nesta tese destacou o valor do uso de ambos os proxies, como indicadores complementares de condições climáticas opostas, sem precedentes na América do Sul tropical. Demonstramos que a partir da integração de diferentes proxies é possível obter uma melhor compreensão das reconstruções paleoclimáticas, paleoambientais e paleogeográficas da América do Sul tropical.

REFERÊNCIAS

- AB' SABER, A. O Paleodeserto de Xique-Xique. In: **Estudos Avançados**, São Paulo: USP, v.20, p.301-308, 2006.
- ABHAR, K.C.; WALKER, I.J.; HESP, P.A.; GARES, P.A. Spatial-temporal evolution of aeolian blowout dunes at Cape Cod. **Geomorphology**, v.236, p.148-162, 2015
- AL MASRAHY, M.A.; MOUNTNEY, N.P. A classification scheme for fluvial-aeolian system interaction in desert-margin setting. **Aeolian Research**, v.17, 67-88, 2015
- ALMEIDA, F.F.M.; BRITO NEVES, B.B.; CARNEIRO, C.D.R. The origin and evolution of the South American Platform. **Earth Science Reviews**, v.50, p.77-111, 2000.
- ARAGÃO, J.O.R. **A influência dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Dinâmica do Tempo e do Clima do Nordeste do Brasil**. Capítulo do Livro Oceanografia um cenário tropical. Org.: Eskinazi-Leça, E.; Neumann-Leitão; Costa, M.F. da. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2004.
- ARAÚJO, J.B.; CARNEIRO, R.G. **Planície do Araguaia, reconhecimento geológico-geofísico**. Belém, PETROBRAS-Região Norte, 11 p. (Relatório Técnico Interno, 348). 1977.
- ASSINE M.L. **Sedimentação na Bacia do Pantanal Mato-Grossense, Centro-Oeste do Brasil**. Tese de Livre-Docência, Universidade Estadual Paulista - UNESP, Rio Claro, 106p, 2003.
- ASSINE, M.L., SOARES, P.C. Quaternary of the Pantanal, west central Brazil. **Quatern. Int.** 114, 23–34. 2004.
- AULER, A.S. **Karst Evolution and Paleoclimate in Eastern Brazil**. Ph.D. Thesis, University of Bristol. 269p, 1999.
- AULER, A.S.; SMART, P.L. Late Quaternary paleoclimate in semiarid northeastern Brazil from U-Series dating of travertine and water-table speleothems. **Quaternary Research**, v.55, p.159-167, 2001.
- BAGNOLD, R. A. The physics of blown sand and desert dunes. London: Methuen, 1941.
- BARBOSA, L.M. **Campo de dunas costeiras associados a desembocadura do Rio São Francisco (SE/AL)**. Salvador, Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia, Tese de Doutorado, 202p, 1997.
- BARRETO, A. M. F. **Estudo morfológico e sedimentológico da porção norte do mar de areia fóssil do médio Rio São Francisco, Bahia**. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, Dissertação de Mestrado, 98p, 1993.
- BARRETO, A.M.F. **Interpretação Paleoambiental do Sistema de Dunas Fixadas do Médio Rio São Francisco, Bahia**. São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 174p, 1996.
- BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K.; DE OLIVEIRA, P.E.; TATUMI, S.H. The stabilized sand dune field of the middle São Francisco river, Bahia state, Brazil. In: Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Queiroz, E.T., Winge, M., Berbert-Born, M. (Eds.), **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. 1999.
- BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K.; BEZERRA, F.H.R.; TATUMI, S.H.; YEE, M.; GIANNINI, P.C.F. Geologia e geomorfologia do Quaternário costeiro do Estado do Rio Grande do Norte. São Paulo, **Geologia-USP**, v.4(2), p.1-12, 2004.
- BAYER, M. **Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do rio Araguaia**. Universidade Federal de Goiás, Goiânia, Tese de Doutorado, 86p, 2002.

- BEHLING, H.A.R.Z; TZOLD, H.W.; WEFER, J.R.P.G. Late Quaternary vegetational and climate dynamics in northeastern Brazil, inferences from marine core GeoB 3104-1. **Quaternary Science Reviews**. v.19, p.981-994, 2000.
- BLUM, M., MARTIN, J., MILLIKEN, K., GARVIN, M. Paleovalley systems: insights from Quaternary analogs and experiments. **Earth-Sci. Rev.**, v.116, p.128–169, 2013.
- BLUM, M.D. Large river systems and climate change. In: Gupta, A. (Ed.), *Large Rivers: Geomorphology and Management*. Wiley, pp. 627–659, 2007.
- BRIDGE, J.S. **Rivers and Floodplains: Forms, Processes and Sedimentary Record**. Blackwell, Oxford, 491p. 2003.
- BRISTOW, C. S.; DULLER, G. A. T.; LANCASTER, N. Age and dynamics of linear dunes in the Namib Desert. **Geology**, v. 35 (6), p.555, 2007.
- BRISTOW, C.; BAILEY, S.D.; LANCASTER, N. The sedimentary structure of linear sand dunes. **Nature**, v.406, p.56-59, 2000.
- BRISTOW, C.; PUGH, J.; GOODALL, T. Internal structure of aeolian dunes in Abu Dhabi determined using ground penetrating radar. **Sedimentology**, v. 43, p.995-1003, 1996.
- BRITO NEVES, B.B.; LEAL, A.S. Elementos de estratigrafia do Médio São Francisco. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 4. **Atas...Recife: SBG**.1968.
- BROWN, R.W.; GALLAGHER, K.; GLEADOW, A.J.W.; SUMMERFIELD, M.A. Morphotectonic evolution of the South Atlantic margins of Africa and South America. In Summerfield, M.A. (ed.): **Geomorphology and global tectonics**, Wiley, Chichester. p.255–281, 2000.
- BULLARD, J.E.; LIVINGSTONE, I. Interactions between aeolian and fluvial systems in dryland environments. **Area**, v.34, p.8-16, 2002.
- CABRAL, C. J. **Caracterização paleoclimática e paleoambiental do campo de dunas de Petrolina em Pernambuco: um subsídio para a reconstituição do submédio São Francisco**. Recife, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de mestrado, 153p, 2014.
- CARLING, P., JANSEN, J., MESHKOVA, L. Multichannel rivers: their definition and classification. **Earth Surf. Process. Landf.**, v.39, p.26–37, 2014
- CARNEIRO FILHO, A.; SCHWARTZ, D.; ROSIQUE, T.; TATUMI, S.H. Amazonian Paleodunes provide evidence for drier climate phases during the Holocene. **Quaternary Research**, v.58, p.205-209, 2002.
- CARNEIRO FILHO, A.; ZINCK, J.A. Mapping paleo-aeolian sand cover formations in the northern Amazon basin from TM images. **ITC Journal**, v. 3, p. 270-82, 1994.
- CARTELLE, C. Pleistocene mammals of the Cerrado and Caatinga of Brazil. In: Eisenberg, J.F., Redford, K.H. (Eds.), **Mammals of the Neotropics**. The University of Chicago Press, pp. 27- 46, 1999.
- CARTELLE, C.; HARTWIG, W. C. A new extinct primate among the Pleistocene megafauna of Bahia, Brazil. **Evolution**, v.93, p.6405- 6409. 1996.
- CLAPPERTON, C. **Quaternary Geology and Geomorphology of South America**. Elsevier, Amsterdam, 779p., 1993.
- CHOI, J.H., MURRAY, A.S., JAIN, M., CHEONG, C.-S., CHANG, H.W. Luminescence dating of well-sorted marine terrace sediments on the southeastern coast of Korea. **Quaternary Science Reviews** 22, 407-421, 2003.
- DANTAS, M.A.T.; DUTRA, R.P.; CHERKINSKY, A.; FORTIER, D.C.; KAMINO, L.H.Y.; COZZUOL, M.A.; RIBEIRO, A.S.; VIEIRA, F.S. Paleoeology and radiocarbon dates of the Pleistocene megafauna of the Brazilian Intertropical Region. **Quaternary Research**, v.79, p.61-65, 2013.

- DE OLIVEIRA, P.E.; BARRETO, A.M.F.; SUGUIO, K. Late Pleistocene/Holocene climatic and vegetational history of the Brazilian caatinga: the fossil dunes of the middle São Francisco River. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.152 (3-4), p.319-337, 1999.
- DOMINGUES, A. J. P. Contribuição a geologia do sudeste da Bahia. **Revista Brasileira de Geografia**, v.10, p.255-289, 1948.
- DUNNE, T., AALTO, R.E. **Large river floodplains**, in: Shroder, J. (Editor in Chief), Wohl, E. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, Fluvial, Geomorphology, v.9, pp. 645-678, 2013.
- FERREIRA, B.; CORREA, A.C.B.; BARRETO, A.M.F. Depósitos eólicos inativos do Sub-Médio São Francisco, evidências de atividades eólica durante o Pleistoceno, Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Soc. & Nat., Uberlândia**, v.25 (2), p.363-378, 2013.
- FITZSIMMONS, K.E.; BOWLER, J.; RHODES, E.; MAGEE, J., Relationships between desert dunes during the late quaternary in the lake frome region, strzelecki desert, Australia. **J. Quat. Sci.**, v.22, p.549-558, 2007.
- FITZSIMMONS, K.E.; MILLER, G.H.; MAGEE, J.W.; SPOONER, N.A. Aridity in the monsoon zone as indicated by desert dune formation in the Lake Gregory (Mulan) basin, northwestern Australia. **Aust. J. Earth Sci**, v.59, p.469-478, 2012.
- FRANZINELLI, E.; IGREJA, H., Modern sedimentation in the lower Negro River, Amazonas State, Brazil. **Geomorphology**, 44 (3-4), 259-272, 2002.
- GARES, P.A.; NORDSTROM, K.F. A cyclic model of foredune blowout evolution for a leeward coast: Island Beach, New Jersey: **Annals of the Association of American Geographers**, Association of American Geographers, v. 85, n.1, p.1–20, 1995.
- GIANNINI, P. C. F. **Sistemas Depositionais Eólicos no Quaternário Costeiro do Brasil**. Tese de Livre-Docência, São Paulo, p.224, 2007.
- GOODBRED JR., S.L., KUEHL, S.A. The significance of large sediment supply, active tectonism, and eustasy on margin sequence development: Late Quaternary stratigraphy and evolution of the Ganges–Brahmaputra delta. **Sedimentary Geology** 133, 227–248, 2000a.
- GOUDIE, A S. **Encyclopedia of geomorphology**. Routledge, New York, I-II. 2003.
- GUADAGNIN, F.; CEMALE JR., F.; MAGALHÃES, A.J.; SANTANA, A.; DUSSIN, I., TAKEHARA, L. Age constraints on crystal-tuff from the Espinhaço Supergroup - Insight into the Paleoproterozoic to Mesoproterozoic intracratonic basin cycles of the São Francisco Craton. **Gondwana Res.**, v.27, p.363–376, 2015.
- GUEDES, C. C. F. **Cronologia e sedimentologia dos depósitos eólicos quaternários da Costa Leste Maranhense**. São Paulo, Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 215p, 2004.
- HALFEN, A.F.; FREDLUND, G.G.; MAHAN. S.A. Holocene stratigraphy and chronology of the Casper dune field, Casper, Wyoming, USA. **The Holocene**, v.20, p.773-785, 2010.
- HAVHOLM, K.; KOCUREK, G. A preliminary study of the dynamics of a modern draa, Algodones, southeastern California, USA. **Sedimentology**, v.35, p.649–669, 1988.
- HESP, P. A.; PRINGLE, A. Wind flow and topographic steering within a trough blowout. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, v.34, p.597-601, 2001.
- HESP, P.A. Foredunes and Blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**, v.48, p.245-268, 2002.

- HESSE, P. Sticky dunes in a wet desert: formation, stabilisation and modification of the Australian desert dunefields. **Geomorphology**, v.134, p.309-325, 2011.
- HESSE, P.P. How do longitudinal dunes respond to climate forcing? Insights from 25 years of luminescence dating of the Australian desert dunefields. **Quaternary International**, v. 410, p.11-29, 2016.
- HESSE, P.P. The Australian desert dunefields: formation and evolution in an old, flat, dry continent. In: Bishop, P., Pillans, B. (Eds.), **Australian Landscapes**. Geological Society, London, p.141-163, 2010.
- HOLLANDS, C.B.; NANSON, G. C.; JONES, B.G.; BRISTOW, C.S.; PRICE, D.M; PIETSCH, T. J. Aeolian-fluvial interaction: evidence for Late Quaternary channel change and Wind-rift linear dune formation in the northwestern Simpson Desert, Australia. **Quaternary Science Reviews**, v.25, p.142-162, 2006.
- HUGENHOLTZ, C. H.; WOLFE, S.A., Form–flow interactions of an aeolian saucer blowout. **Earth Surface Processes and Landforms**, 34 (7), p.919-928, 2009.
- HUGENHOLTZ, C.H.; WOLFE, S.A. Morphodynamics and climate controls of two aeolian blowouts on the northern Great Plains, Canada. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.31 (12), p.1540-1557, 2006.
- IPCC, Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation. Especial report of working groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Field CB, Barros V, Stocker TF, Qin D, Dokken DJ, Ebi KL, Mastrandrea MD, Mach KJ, Plattner G-K, Allen SK, Tignor M, Midgley PM (eds) Cambridge University Press, Cambridge, pp 582, 2012.
- IRIONDO, M. Climatic changes in the south American plains: records of a continent-scale oscillation. **Quaternary International** 57/58, 93–112, 1999.
- IRIONDO, M.; LATRUBESSE, E.M. A probable scenario for a dry climate in Central Amazonia during the Late Quaternary. **Quaternary International**, v.21, p.121-128, 1994.
- IRIONDO, M.H. Models of deposition of loess and loessoids in the Upper Quaternary of South America. **Journal of South American Earth Sciences**. 10, 71–79, 1997.
- JAPSEN, P; BONOW, J.M.; GREEN, P.F.; CHALMERS, J.A.; LIDMAR-BERGSTRÖM. Formation, uplift and dissection of planation surfaces at passive continental margins – a new approach. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.34, p.683-699, 2009.
- JUYAL, N.; CHAMYAL, L.S.; BHANDARI, S.; BHUSHAN, R.; SINGHVI, A.K. Continental record of the southwest monsoon during the last 130 ka: evidence from the southern margin of the Thar Desert, India. **Quaternary Science Reviews**, v.25, p.2632-2650, 2006.
- KEMP, R.A., Toms, P.S., King, M., Krohling, D.M. The pedosedimentary chronology of Tortugas, a Late Quaternary type-site of the northern Pampa, Argentina. **Quaternary International** 114, 101–112, 2004.
- KING, L. C. A geomorfologia do Brasil oriental. **Revista brasileira de geografia**, v. 18, n.2, p. 3-121, 1956.
- KOCUREK, G.; NIELSON, J. Conditions favourable for the formation of warm-climate aeolian sand sheets. **Sedimentology**. v. 33, n.6, p.795-816, 1986.
- KOCUREK, G. Aeolian System Response to External Forcing Factors - A Sequence Stratigraphic View of the Saharan Region. In: **Quaternary Deserts and Climatic Change** (Eds A.S. Alsharan, K.W. Glennie, G.L. Whittle and C.G.S.C. Kendall), Balkema, Rotterdam/Brookfield. p.327-338, 1998.

- KOCUREK, G.; CARR, M.; EWING, R.; HAVHOLM, KG; NAGAR, Y.C.; SINGHVI, A.K. White Sands dune field, New Mexico: Age, dune dynamics and recent accumulations. **Sedimentary Geology**, v.197(3-4), p.313-331, 2007.
- KOCUREK, G.; LANCASTER, N. Aeolian sediment states: theory and Mojave Desert Kelso Dune field example. **Sedimentology**, v. 46, n.3, p.505–516, 1999
- LAHIRI, S., SINHA, R. Tectonic controls on the morphodynamics of the Brahmaputra River system in the upper Assam valley, India. **Geomorphology**, 169–170, 74–85, 2012
- LANCASTER, N. Low latitude dune fields, in Elias, S.A. (ed.), **Encyclopedia of Quaternary Science**, Elsevier, 626-642, 2007.
- LANCASTER, N. Sand Seas and Dune Fields. In: **Treatise on Geomorphology** (Ed J.F. Shroder, Editor-in-Chief), p. 219-245. Academic Press, San Diego. 2013.
- LANCASTER, N. Desert dune dynamics and development: insights from Luminescence dating. **Boreas**, v.37, p.559-573, 2008.
- LANCASTER, N. **Geomorphology of Desert Dunes**. Routledge, London, 290p. 1995b.
- LANCASTER, N. Relations between dune generations in the Gran Desierto of Mexico. **Sedimentology**, v.39, p.631–644, 1992.
- LANCASTER, N. Controls of aeolian dune size spacing. **Geology**, 16, 972-5. 1988.
- LANCASTER, N.; KOCUREK, G.; SINGHVI, A.K.; PANDEY, V.; DEYNOUX, M., GHIEENNE, J.-P. Late Pleistocene and Holocene dune activity and wind regimes in the western Sahara of Mauritania. **Geology**, v.30, p.991-994. 2002.
- LANGFORD, Fluvial-aeolian interaction, part I: modern systems, **Sedimentology** 36, 1023-36, 1989.
- LANCASTER, N.; TCHAKERIAN, V.P. Geomorphology and sediments of sand ramps in the Mojave Desert. **Geomorphology**, v.17, p.151–165, 1996.
- LATRUBESSE, E. M., J. C. STEVAUX, M. L. SANTOS; M. L. ASSINE. Grandes sistemas fluviais: geologia, geomorfologia e paleohidrologia. Pp. 276-297. In: Souza, C. R. G., K. Suguio, A. M. S. Oliveira & P. E. Oliveira (Eds.). Quaternário no Brasil. Ribeirão Preto, Holos Editora. 2005.
- LATRUBESSE, E. M.; NELSON, B. W. Evidence for late quaternary aeolian activity in the Roraima-Guyana region. **Catena**, v.43(1), p.63-80, 2001.
- LATRUBESSE, E. The late Pleistocene in Amazonia: a palaeoclimatic approach. In: Smolka, P., Volkheimer, W. (Eds.), **Southern Hemisphere Paleo and Neoclimates**. Springer, p. 209–222, 2000.
- LATRUBESSE, E. The Late Quaternary paleohydrology of large South-American fluvial systems. In: Gregory, K., Benito, G. (Eds.), **Palaeohydrology: Understanding Global Change**. Wiley, Chichester, pp.193–212, 2003.
- LATRUBESSE, E. Patterns of anabranching channels: the ultimate end-member adjustments of mega-rivers. **Geomorphology**. 101, 130–145, 2008.
- LATRUBESSE, E.; STEVAUX, J.C.; CREMON, S.; MAY, J.; TATUMI, M.; HURTADO, M.; ARGOLLO, J.; BEZADA, M. Late Quaternary megafans, fans and fluvio–aeolian interactions in the Bolivian Chaco, Tropical South America. **Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.**, v.356, p.75–88, 2012.
- LATRUBESSE, E.M.; AMSLER, M.L.; DE MORAIS, R.P.; AQUINO, S. The geomorphologic response of a large pristine alluvial river to tremendous deforestation in the South American tropics: The case of the Araguaia River. **Geomorphology**, v.113(3-4), p.239-252, 2009.
- LATRUBESSE, E.M.; CARVALHO, T.M. **Geomorfologia do Estado de Goiás e Distrito Federal**. Série Geologia e Mineração, n.2, 2006.

- LATRUBESSE, E.M., FRANZINELLI, E., 2002. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. **Geomorphology**, 44 (3), 241–257, 2002.
- LATRUBESSE, E.M.; FRANZINELLI, E. The Late Quaternary evolution of the Negro River, Amazon, Brazil: implications for island and floodplain formation in large anabranching tropical systems. **Geomorphology**, v.70, p.372–397, 2005.
- LATRUBESSE, E.M.; NELSON, B. Evidence for Late Quaternary aeolian activity in the Roraima-Guyana Region. **Catena**, v.43, p.63-80. 2001.
- LATRUBESSE, E.M.; RANCY, A. Neotectonic influence on tropical rivers of southwestern Amazon during the late Quaternary: The Moa and Ipixuna river basins, Brazil. **Quaternary International**, v.72 (1), p.67–72, 2000.
- LATRUBESSE, E.M.; STEVAUX, J.C. Geomorphology and environmental aspects of the Araguaia fluvial basin, Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v.129, p.109–127, 2002.
- LIVINGSTONE, I.; BRISTOW, C.; BRYANT, R. G.; BULLARD, J.; WHITE, K.; WIGGS, G. F. S.; BAAS, A. C. W.; BATEMAN, M. D.; THOMAS, D. S. G. The Namib Sand Sea digital database of aeolian dunes and key forcing variables. **Aeolian Research**, 2(3), pp. 93-104. 1875-9637, 2010.
- MABESOONE, J.M.; ROLIM, J.L.; CASTRO, C. Late Cretaceous and Cenozoic history of Northeastern Brazil. **Geologie en Mijnbouw**, v.56, p.129-139, 1977.
- MARENGO, J.A.; Torre, R.R.; Alves, L.M. Drought in Northeast Brazil - Past, present, and future. **Theor Appl Climatol**, 129:1189–1200, 2017
- MARENGO, J. A.; LINCOLN, M. A.; SOARES, W.R., RODRIGUEZ, D.; CAMARGO, H.; RIVEROS, M.P.; PABLÓ., A.D. “Two contrasting severe seasonal extremes in tropical South America in 2012: flood in Amazonia and drought in Northeast Brazil.” **J. Clim.** 26 no. 22. 9137–9154. 2013.
- MAROULIS, J.C.; NANSON, G.C.; PRICE, D. M.; PIETSCH, T. Aeolian–fluvial interaction and climate change: source-bordering dune development over the past ~100 ka on Cooper Creek, central Australia. **Quaternary Science Reviews**, v.26, p.386-404, 2007.
- MARQUES, V. S.; RAO, V. B; MOLION, L. C. B. Interannual and seasonal variation in the structure and energetics of the atmosphere over Northeast Brazil. **Tellus**, v. 35A, n. 2, p. 136-148, Mar. 1983.
- MCKEE, E.D. Introduction to a study of global sand seas. In: McKee, E.D. (Ed.), **A Study of Global Sand Seas**. United States Geological Survey, Professional Paper, 1052, p.3–19, 1979.
- MERTES, L.A., DUNNE, T.; MARTINELLI, L.A. 1996. Channel-floodplain geomorphology along the Solimoes-Amazon River, Brazil. **Geol. Soc. Am. Bull**, 108: 1089-1107, 1996.
- MISI A.; VEIZER J. Neoproterozoic carbonate sequences of the Una Group, Irecê Basin, Brazil: Chemostratigraphy, age and correlations. **Precambrian Res.**, v.89, p.87-100, 1998.
- MOLION, L.C.B.; BERNARDO, S.O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no Nordeste Brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 17(1)1-10, 2002.
- MOURA, A.D.; SHUKLA, J. On the dynamics of droughts in northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a GCM. **J. Atmos. Sci.**, v. 38, p.2653-2675, 1981.
- MORAES REGO, L. F. 1926. Reconhecimento geológico da parte ocidental do Estado da Bahia. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico**, v.17, p.33-54, 1926.

- MUNYIKWA, K. Synchrony of Southern Hemisphere late Pleistocene arid episodes: A review of luminescence chronologies from arid aeolian landscapes south of the equator. **Quaternary Science Reviews**. 24, 2555–2583, 2005.
- MURRAY, A.S.; WINTLE, A.G. Luminescence dating of quartz using an improved single-aliquot regenerative-dose protocol. **Radiation Measurements**. 32, 57-73, 2000.
- NANSON, G.C., CROKE, J.C. A genetic classification of floodplains. **Geomorphology**, v.4, p.459–486, 1992.
- NANSON, G.C., PRICE, D.M., JONES, B.G., MAROULIS, J.C., COLEMAN, M., BOWMAN, H., COHEN, T.J., PIETSCH, T.J., LARSEN, J.R. Alluvial evidence for major climate and flow regime changes during the middle and late Quaternary in eastern central Australia. **Geomorphology**, v.101 (1–2), p.109–129, 2008.
- NANSON, G.C.; CHEN, X.Y.; PRICE, D.M. Aeolian and fluvial evidence of changing climate and Wind patterns during the past 100ka in the western Simpson Desert, Australia. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v.13, p.87-102, 1995.
- NANSON, G.C.; PRICE, D.M.; SHORT, S.A. Wetting and drying of Australia over the past 300ka. **Geology**, v.20, p.791-794. 1992b.
- OLLY, J.M., MURRAY, A.S., ROBERTS, R.G. The effects of disequilibria in the uranium and thorium decay chains on burial dose rates in fluvial sediments. **Quaternary Science Reviews (Quaternary Geochronology)**.15, 751-760, 1996.
- PAILLOU, P. *et al.* Mapping subsurface geology in Sahara using L-Band SAR: first results from the ALOS/PALSAR imaging radar. **IEEE J. Select. Topics Earth Observ. Remote Sensing** 3, 632–636, 2010.
- PAROLIN, M.; STEVAUX, J.C. Dry climate and eolian dune formation in the Middle Holocene in Mato Grosso do Sul State, Central West Brazil. **Zeitschrift für Geomorphologie**, v. 145, p.177-190, 2006.
- PEDREIRA, A.J. **O Supergrupo Espinhaço na Chapada Diamantina centro-oriental, Bahia: Sedimentologia, Estratigrafia e Tectônica**. Inst. de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo. Tese de Doutorado, 126 p, 1994.
- PEDREIRA, A.J.; DE WAELE, B. Contemporaneous evolution of the Paleoproterozoic-Mesoproterozoic sedimentary basins of the São Francisco-Congo Craton, In Pankhurst, R.J., *et al.*, EDS., **West Gondwana: Pre-Cenozoic correlations across the South Atlantic region**: Geological Society of London Special Publication, v.294, p.33-48, 2008.
- PENHA, A.E.P.P. **O Calcário Caatinga de Ouralândia, Bahia: Feições Diagnósticas, Gênese e Evolução de um Perfil Calcrete**. Tese de Mestrado, Universidade Federal da Bahia. 180p, 1994.
- PRESCOTT, J.R. AND HUTTON, J.T. Cosmic ray contribution to dose rates for luminescence and ESR dating: large depths and long-term time variation. **Radiation Measurements**. 23, 497-500, 1994.
- PYE, K. Late Quaternary development of coastal parabolic megadune complexes in northeastern Australia. In: Pye K., Lancaster, N. (Eds.), **Aeolian Sediments, Ancient and Modern**. Special Publication International Association of Sedimentologists. v.16, p.23–44, 1993.
- PYE, K.; TSOAR, H. **Eolian sand and sand dunes**, Springer, 475p., 2009.
- PYE, K.; TSOAR, H. **Aeolian sand and sand dunes**. London, Unwin Hyman, 396 p., 1990.

- ROA MORALES, P. Estudio de los medanos de los Llanos Centrales de Venezuela: evidencias de un clima desertico. **Acta Biologica Venezuela**, v.10 (1), p.19-49, 1979.
- ROCHA, P.L.B.; QUEIROZ, L.P.; PIRANI, J.R. Plant species and habitat structure in a sand dune field in the Brazilian Caatinga: a homogeneous habitat harbouring an endemic biota. **Brazilian Journal of Botany**. v.27 n.4. p.739-755. 2004
- RODRIGUEZ-LOPEZ, J. P.; CLEMMENSEN, L. B.; LANCASTER, N.; MOUNTNEY, N.P.; VEIGA, G.D. Archean to Recent aeolian sand systems and their sedimentary record: Current understanding and future prospects. **Sedimentology**, v.61, p.1487–1534. 2014.
- ROSSETTI, D.F.; COHEN, M.C.; BERTANI, T.C.; HAYAKAWA, E.H.; PAZ, J.D.; CASTRO, D.F.; FRIAES, Y. Late Quaternary fluvial terrace evolution in the main southern Amazonian tributary. **Catena** 116, 19–37, 2014.
- ROWELL, A.; THOMAS, D.; BAILEY, R.; STONE, A.; GARZANTI, E.; PADOAN, M. Controls on sand ramp formation in southern Namibia. **Earth Surf. Process. Landforms** 43, 150–171, 2018.
- SARNTHEIN, M. Sand deserts during glacial maximum and climatic optimum. **Nature**, v. 272, p.43–46, 1978.
- SILVA A.J.P; LOPES, R.C.L; VASCONCELOS, A.M.; BAHIA, R.B.C. Bacias Sedimentares Paleozóicas e Meso- Cenozóicas Interiores. In: BIZZI LA, SCHOBENHAUS C, VIDOTTI RM AND GONÇALVES JH (Eds), **Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil**. Brasília, CPRM, p. 55-85. 2003.
- SILVA, J.L.L. **Reconstituição paleoambiental baseada no estudo de mamíferos pleistocênicos de Maravilha e Poço das Trincheiras, Alagoas, nordeste do Brasil**. Curso de Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Tese de Doutorado. 244p, 2008.
- SINGHVI, A.K., Sharma, Y.P. and Agrawal, D.P. Thermo- luminescence dating of sand dunes in Rajasthan, India. **Nature**, 295, 313-315, 1982.
- SINHA, R. Sedimentology of Quaternary alluvial deposits of the Gandak–Kosi interfan, North Bihar plains. **Journal of Geological Society of India** 46 (5), 521–532, 1995.
- SINHA, R.; LATRUBESSE, E.M.; NANSON. G.C. Quaternary fluvial system of tropics: Major issues and status of Research. **Paleogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology**, v.356-357, p.1-15, 2012.
- STEVAUX, J.C. Climatic events during the Late Pleistocene and Holocene in the Upper Parana River: correlation with NE Argentina and South-Central Brazil. **Quaternary International**. v.72, p.73-85. 2000.
- STEVAUX, J.C. The upper Paraná River (Brazil): geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. **Quaternary International**, v.21, p.143–161, 1994.
- STEVAUX, J.C.; SANTOS, M. Palaeohydrological changes in the upper Paraná River, Brazil, during the late Quaternary: a facies approach. In: Benito, G., Baker, V., Gregory, K. (Eds.), **Palaeohydrology and Environmental Change**. J.Wiley and Sons, p. 273–285, 1998.
- STOKES, S.; THOMAS, D.S.G.; WASHINGTON, R. Multiple episodes of aridity in southern Africa since the last interglacial period. **Nature**, 338, p.154-158, 1997. **PNAS**, 115 (15), 3788-3793, 2018.
- STRÍKIS N. M., *et al.*. Timing and structure of Mega-SACZ events during Heinrich Stadial 1. **Geophys Res Lett** 45:1–8, 2015.
- STRÍKIS, N.M.; CRUZ, F.W.; BARRETO, E.A.S.; NAUGHTON, F.; VUILLE, M.; CHENG, H.; VOELKER, A.H.L.; ZHANG, H.; KARMANN, I.; EDWARDS, R.L;

- AULER, A.S.; SANTOS, R.V.; SALES, H.R. South American monsoon response to iceberg discharge in the North Atlantic, 2018.
- SUGUIO, K.; BARCELOS, J.H.; MATSUI, E. Significados paleoclimáticos e paleoambientais das rochas calcárias da Formação Caatinga (BA) e do Grupo Bauru (MG/SP). **Anais XXXI Congresso Brasileiro de Geologia**, v.1, p.607-617, 1980.
- SUMMERFIELD, M.A. The changing landscape of geomorphology. **Earth Surface Processes and Landforms**, v.30, p.779–81, 2005.
- TALBOT, M.R. A review of the palaeohydrological interpretation of carbon and oxygen isotopic ratios in primary lacustrine carbonates. **Chemical Geology**, v.80, p.261-279, 1990.
- TEEUW, R.M., RHODES, E.J. Aeolian activity in northern Amazonia: optical dating of Late Pleistocene and Holocene paleodunes. **Journal of Quaternary Science**, v.19 (1), p.49-54, 2004.
- TELES, M. R. L. Atlas Aerogeofísico do Estado da Bahia. 1. ed, v. único. CPRM, 2019.
- TOMAZELLI, L. J. **Contribuição ao Estudo dos Sistemas Depositionais Holocênicos do Nordeste da Província Costeira do Rio Grande do Sul, com Ênfase no Sistema Eólico**. Porto Alegre, Universidade Federal Rio Grande do Sul. Tese de Doutorado, 270p., 1990
- TRICART, J. As relações entre a morfogênese e a pedogênese. **Notícia Geomorfológica**, v.8, n.15, p.5-18, 1968.
- TRICART, J. Existence de Períodes seches au Quaternaire en Amazonie et dans les régions voisines. **Revue de Geomorphologie Dynamique**, v.23, p.145-158, 1974.
- TRIPALDI, A.; MEHL, A.; ZÁRATE, M.A. Parabolic megadunes in a subtropical Quaternary inland dune field, southwestern Pampas, Argentina. **Geomorphology**. doi:10.1016/j.geomorph.2018.08.021, 2018.
- TRIPALDI, A.; ZARATÉ, M.A. A review of Late Quaternary inland dune systems of South America east of the Andes. **Quaternary International**, v.410, p.96-110, 2016.
- TSOAR, H.; BLUMBERG, D.G.; STOLER, Y. Elongation and migration of sand dunes. **Geomorphology**, 57, 293-302, 2004.
- TSOAR, H.; LEVIN, N.; PORAT, N.; MAIA, L.P.; HERRMANN, H.J.; TATUMI, S.H.; VANDA, C.S. The effect of climate change on the mobility and stability of coastal sand dunes in Ceara State (NE Brazil). **Quaternary Research**, v.71, p.217-226, 2009.
- UVO, C. B.; REPELLI, C. A.; ZEBIAK, S. E.; KUSHNIR, Y. The Relationships between Tropical Pacific and Atlantic SST and Northeast Brazil Monthly Precipitation. **Journal of Climate**, v. 11, p. 551-562, 1998.
- VALENTE, C.R.; LATRUBESSE, E.M. Fluvial archive of peculiar avulsive fluvial patterns in the largest Quaternary intracratonic basin of tropical South America: The Bananal Basin, Central-Brazil. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. <http://dx.doi.org/10.1016/j.palaeo.2011.10.002>, 2011.
- VALENTE, C.R.; LATRUBESSE, E.M. The Quaternary record of the largest intracratonic basin of South America and its paleohydrological significance for the tropics: the Bananal basin, Brazil. **Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol**. v.356–357, p.62–74, 2012.
- VALENTE, C.R.; LATUBRESSE, E.M.; FERREIRA, L.G. Relationships amount vegetation, geomorphology and hydrology in the Bananal Island tropical

- wetlands, Araguaia River basin, Central Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v.30, p.1-11, 2013.
- WANG, X.; AULER, A.S.; EDWARDS, R.L.; CHENG, H.; CRISTALLI, P.S.; SMART, P.L. RICHARDS, D.A.; SHEN, C.C. Wet periods in northeastern Brazil over the past 210 kyr linked to distant climate anomalies. **Nature**, v.432, p.740-743, 2004.
- WASSON, R.J.; RAJAGURU, S.N; MISRA, V.N.; AGRAWAL, D.P.; DHIR, R.P.; SINGHVI, A.K.; RAO, K.K. Geomorphology, late quaternary stratigraphy and Pateoclimatology of the Thar dune field. **Z. Geomorphology**, v.45, p.117-151, 1983.
- WASSON, R. J.; FITCHETT, K; MACKEY, B; HYDE, R. Large-scale patterns of dunes type, spacing, and orientation in the Australian continental dunefield. **Australian Geographer** 19, 89-104, 1988.
- WILSON, I. G. Ergs. **Sedimentary Geology**. 10, 77-106, 1971.
- WILLIAMS, 1994, Some implications of past climatic changes in Australia. **Transactions of the Royal Society of South Australia**. 118, 17-25. 1994.
- WILLIAMS, H.E. Nota geológica e econômica sobre o vale do Rio São Francisco. **Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico**. v.12, 56p, 1925.
- WINTLE, A.G.; MURRAY, A.S. A review of quartz optically stimulated luminescence characteristics and their relevance in single-aliquot regeneration dating protocols. **Radiation Measurements**. v.41, p.369–391, 2006.
- YAN, N.; BAAS, A.C.W. Parabolic dunes and their transformations under environmental and climatic changes: Towards a conceptual framework for understanding and prediction. **Global and Planetary Change**, v.124, p.123-148, 2015.
- YIZHAQ, H.; ASHKENAZY, Y.; TSOAR, H. Sand dune dynamics and climate change: A modeling approach. **Journal of Geophysical Research**, v.114, p. 1-11, 2009.
- ZARATE, M.A., 2003. Loess of southern South America. **Quaternary Science Reviews**. 22, 1987 e 2006.
- ZIMMERMAN, D.W. Thermoluminescence dating using fine grains from pottery. **Archaeometry**. 13, 29-52, 1971.