

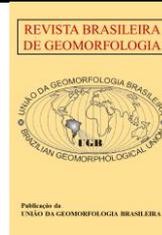


<https://rbgeomorfologia.org.br/>
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 24, n° 3 (2023)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v24i3.2182>



Artigo de Pesquisa

Mapeamento geomorfológico do sistema eólico do baixo São Francisco, litoral sul de Alagoas (NE Brasil)

Geomorphological mapping of the lower São Francisco aeolian system, southern coast of Alagoas (NE Brazil)

Thiago Cavalcante Lins Silva ¹, Bruno Ferreira ²; Nivaneide Alves de Melo Falcão ³ e Marco Túlio Mendonça Diniz ⁴

¹ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Geografia, Natal, Brasil. E-mail. thiago0_lins@hotmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8401-5274>.

² Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Maceió, Brasil. E-mail. brunge2005@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1237-1805>.

³ Universidade Federal de Alagoas, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Maceió, Brasil. E-mail. nivaneide.melo@igdema.ufal.br

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6021-7661>

⁴ Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Departamento de Geografia, Caicó, Brasil. E-mail. tuliogeografia@gmail.com

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7676-4475>.

Recebido: 19/11/2021; Aceito: 20/06/2023; Publicado: 19/09/2023

Resumo: As paisagens costeiras são bastante dinâmicas, sendo ponto de convergência de diversos vetores energéticos, o que torna estas áreas complexas de se compreender, devido as sazonalidades de variações quase que imprevisíveis. Nesse contexto, emerge a preocupação pela compreensão da configuração morfológica das dunas costeiras, discutindo sua estruturação e dinâmica. Sabendo disso, o presente estudo buscou mapear e compreender o sistema eólico do baixo São Francisco em Piaçabuçu, Alagoas, Brasil. Para tal foi utilizada metodologia sistemática de compreensão dos modelados eólicos, setorizando os conjuntos de associações morfológicas, utilizando imagens de satélite e softwares de código livre, para identificação das morfologias. Foram identificados 3 conjuntos de associações distintos, 11 subunidades em seus interiores, relacionados a processos superficiais indiferenciados, resultantes da relação entre cobertura vegetal, ventos e aporte sedimentar. Foi possível identificar também uma mudança morfológica de norte a sul do sistema eólico, relacionado a efetividade do vento frente a disponibilidade de sedimentos, evidenciando o que poderia ser um decaimento energético de sul para norte. Os dados obtidos e os produtos gerados possibilitaram interpretações novas, sobre uma área já amplamente estudada e bastante dinâmica geomorfologicamente, sendo importante para, em perspectivas futuras, subsidiar estudos científicos e técnicos na área.

Palavras-chave: Geomorfologia Costeira; Formas Eólicas; Mapeamento Geomorfológico.

Abstract: Coastal landscapes are very dynamic, being a point of convergence for several energy vectors, which makes these areas complex to understand, due to the seasonality of almost unpredictable variations. In this background, the concern for understanding the morphological configuration of coastal dunes emerges, discussing their structure and dynamics. Knowing this fact, the present study proposes a geomorphological map, which allow understanding the eolian system of the lower São Francisco in Piaçabuçu, Alagoas, Brazil. For this, a systematic methodology of understanding the eolian modelings was used, sectorizing the sets of morphological associations, using satellite images and free code software, for identification of the morphologies. Three distinct sets of associations were identified, 11 subunits in their interiors, related to undifferentiated surface processes, resulting from the relationship between vegetation cover, winds and sediment input. It was also possible to identify a morphological change from north to south of the eolian system, related to the effectiveness of the wind in front of the availability of sediments, evidencing what could be an energy decay from south to north. The data obtained and the products generated allowed new interpretations, about an area already widely studied and quite dynamic geomorphologically, being important for, in future perspectives, to subsidize scientific and technical studies in the area.

Francisco in Piaçabuçu, Alagoas, Brazil. Therefore, a systematic methodology was used to understand the eolian landforms, sectorizing the sets of morphological associations, using satellite images and free code software to identify the morphologies. Three sets of distinct associations were identified, eleven subunits in their interiors, related to undifferentiated surface processes resulting from the connection between vegetation cover, winds and sedimentary input. It was also possible to identify a morphological change from north to south of the eolian system, related to the effectiveness of the wind against the availability of sediments, demonstrating what could be an energy decay from south to north. The obtained data and the generated products allowed new interpretations on a scientific area widely studied and dynamic, being relevant for future perspectives to subsidize scientific and technical studies in the area.

Keywords: Coastal Geomorphology; Aeolian landforms; Geomorphological Mapping.

1. Introdução

O estudo das morfologias costeiras pressupõe a concepção teórica sistêmica da paisagem na Geografia Física, e mais especificamente sua inserção na Geomorfologia, contempla a análise e interpretação de uma série de processos interligados que são fundamentais para a compreensão do balanço energético das paisagens costeiras, através de variados índices morfométricos, uma série de interpretações sedimentológicas e análises topográficas em variadas escalas, sendo assim base para qualquer interpretação geomorfológica.

As morfologias costeiras representam testemunhos marcantes do balanço das dinâmicas continental, oceânica, atmosférica e sua interação com a biota, compreendendo modelados bastante sensíveis a alterações na propagação e repercussão de *inputs* de energia nos sistemas naturais (CARVALHO; SILVA, 2015; SILVA, 2021), isto significa que seu equilíbrio médio ou dinâmico apresenta capacidade rápida de resposta a mudanças quando comparadas a modelados interiores. As alterações nesses sistemas se dão por modificações na costa, através de eventos erosivos e deposicionais como ação de ondas de tempestade (curto prazo) como variações do nível médio dos mares (longo prazo), mas também estão intimamente ligadas a processos e mudanças nos cursos fluviais e cabeceiras de drenagem, uma vez que suas dinâmicas interferem diretamente no suprimento sedimentar e na direção e intensidade dos ventos, agentes modeladores (LIU; COULTHARD, 2015).

Nessa transição oceano-continente, as dunas compreendem um dos tipos de morfologias mais dinâmicos, devido a sua capacidade de resposta rápida a variações de energia nos sistemas naturais. Tendo como alicerce processual de controle a interação entre a dinâmica atmosférica, continental, oceânica e cobertura vegetal costeira, resultando na formação de variadas morfologias ativas, parcialmente ativas e estabilizadas, tendo a compreensão de sua modelagem efetiva através de modelos de sistemas deposicionais eólicos (GIANNINI, 2007; RODRIGUES, 2017).

No conjunto dos estudos sobre ambientes costeiros no Brasil, as dunas do Baixo São Francisco são comumente elencadas nos estudos científicos como exemplos de formas eólicas no Nordeste, sendo citadas por diversos pesquisadores, nacional e internacionalmente, ao se discutir sistemas dunares em zonas tropicais, assim como os Lençóis Maranhenses (MA), Campos de dunas potiguares (RN) e as dunas de Jericoacoara (CE) (SAWAKUSHI, 2006; BISPO, 2008, FERNANDEZ, et al. 2019). Entretanto, tal reconhecimento só foi possível devido aos estudos pioneiros realizados por autores que se dispuseram a analisar a dinâmica eólica da área, buscando entender seu contexto de exceção no Nordeste.

No tocante às dunas do baixo São Francisco, estudos como os de Barbosa (1997) e Barbosa e Dominguez (2004), abriram margem para a discussão desta área em âmbito nacional e internacional. Desde então, diversos autores buscaram entender e discutir a dinâmica sedimentológica e sua relação com a distribuição dos edifícios eólicos na área, embasados nos estudos pioneiros, a exemplo de Lima et al. (2004) e Bispo (2008) que discutiram os campos de dunas costeiras do São Francisco em Alagoas e Sergipe. Mais recentemente, Costa (2010), na construção do Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental - APA de Piaçabuçu, em 2010, elaborou um mapeamento em 1:100.000 de seu território, identificando suas áreas e setorizando as principais morfologias, contemplando os sistemas eólicos, entretanto, sem uma metodologia rígida no que diz respeito a hierarquização das formas e as relações das formas mapeadas.

Amplamente estudadas entre os anos de 1997 e 2010, as dunas do baixo São Francisco surgem como área de interesse para a realização de estudos sistematizados sobre a sua organização atual, frente ao intenso dinamismo dos ambientes eólicos ativos, tendo em vista que, com base na bibliografia revisada, estudos desta natureza não

vêm sendo realizados na área na última década. Com base nesse contexto, frente ao dinamismo dos sistemas eólicos e ao contexto das mudanças climáticas atuais, se vê necessário um novo olhar para os sistemas eólicos do baixo São Francisco. Sendo assim, o presente estudo buscou compreender os fatores que controlam a dinâmica do sistema em questão, bem como sua compartimentação geomorfológica, através de um mapeamento detalhado, inédito para área. O mapeamento proposto pode constituir ferramenta para a criação de políticas de ocupação do território costeiro na região mapeada, uma área de interesse ambiental e turístico, fido de múltiplas preocupações em relação a integridade de seu ambiente costeiro, que presta uma série de serviços ecossistêmicos.

O presente estudo buscou analisar a dinâmica geomorfológica do sistema eólico do baixo São Francisco em Piaçabuçu, Litoral Sul de Alagoas, através de um mapeamento sistemático em escala de detalhe (1:50.000), interpretando suas formas e possíveis relações funcionais, realizando algumas inferências específicas, buscando contribuir com as discussões sobre a sua dinâmica funcional.

2. Área de Estudo

A área de estudo compreende o sistema eólico do baixo São Francisco - SEBSF, localizado no município de Piaçabuçu (**Figura 1**), Litoral Sul de Alagoas, a cerca de 135 km de Maceió, na região geográfica intermediária de Maceió e na região imediata de Penedo, integra a Região Metropolitana do São Francisco. O SEBSF apresenta uma área de aproximadamente 37,35 km² distribuídos com eixo principal norte-sul medindo 25,97 km, interiorizando-se por 3,02 km, aproximadamente.

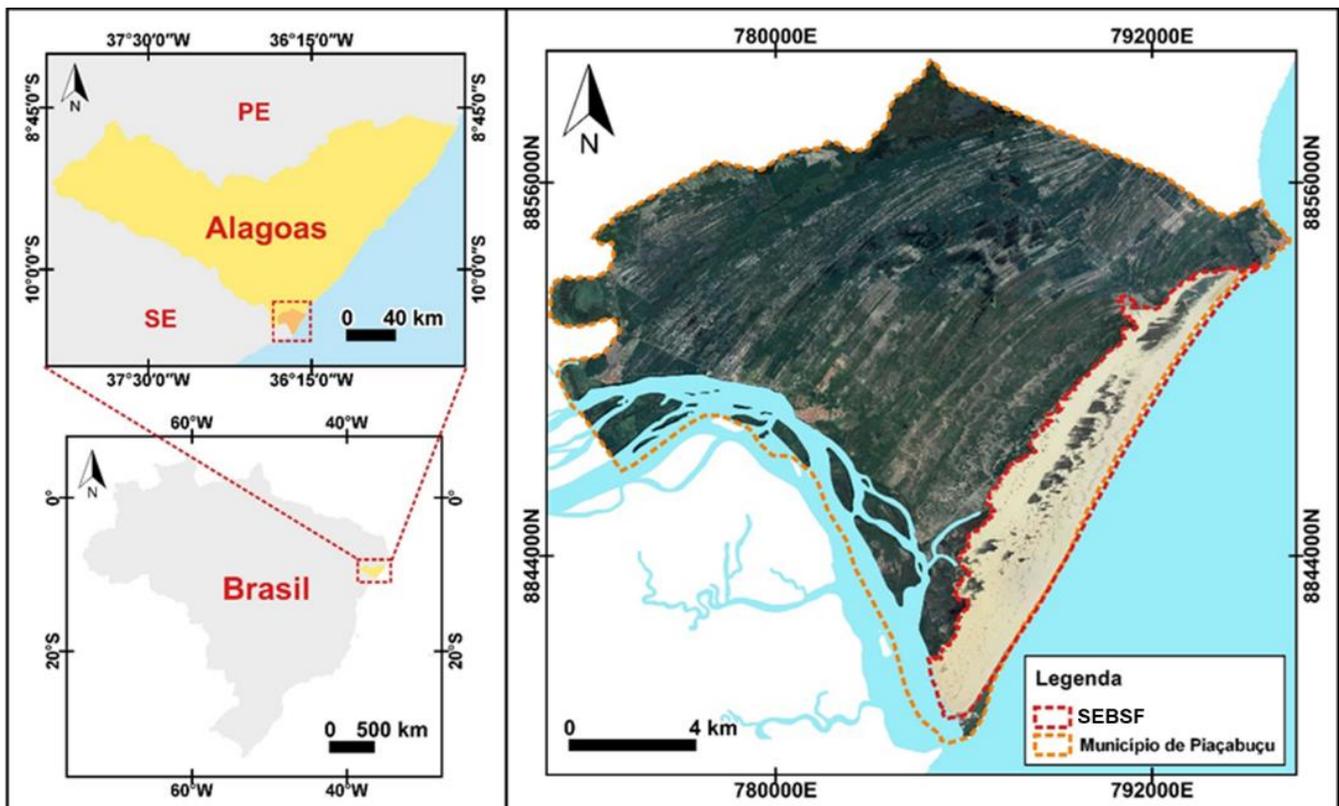


Figura 1. Mapa de localização do sistema eólico do baixo São Francisco - SEBSF área de estudo. Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Contexto Geológico

O sistema eólico do baixo São Francisco encontra-se inserido geologicamente na porção emersa da Bacia Sedimentar Sergipe-Alagoas, mais especificamente na Sub-bacia de Alagoas. Nessa sub-bacia repousam depósitos sedimentares quaternários (CPRM, 2015). De acordo com Lima et al. (2014), a acomodação dos depósitos quaternários e sua variação genética dispostos na foz do Rio São Francisco, possuem relação indireta com sucessões de falhamentos gravitacionais ocorridos a 65 e 83 mil anos AP, o que forneceu espaço de acomodação para os depósitos sedimentares.

Ao longo do Quaternário Tardio, o acúmulo de material arenoso remobilizado pela ação de fortes ventos deu origem a uma extensa faixa dominada por sistemas eólicos em Piaçabuçu, objeto do presente estudo. De acordo com Barbosa (1997) e Lima et al. (2004), os edifícios dunares da área são compostos predominantemente por areias quartzosas muito bem selecionadas, com materiais finos e muito finos. Morfologicamente, compreendem um conjunto de formas eólicas diversificadas com predominância de faces arredondadas ou sub arredondadas em estágios variados de estabilidade.

Com relação a sua origem evolutiva, de acordo com Barbosa (1997) e Barbosa e Dominguez (2004), pode estar relacionada à evolução de sistemas de dunas frontais em um cenário de mar alto. Essa interpretação está relativamente coerente tendo em vista que, de acordo com Giannini (2005), os cenários de mar alto ocasionam processos de ampliação e verticalização dos campos de dunas, que em certa parte, foi encontrado por Guimarães (2010), ao analisar a evolução do Delta do São Francisco, identificando que o Delta chegou a sua condição atual através de um contexto de mar alto a partir de 4,7 mil anos A.P.

Aspectos climáticos

O contexto climático da região possui dois cenários bem definidos com duas estações ao longo do ano, uma mais seca, entre os meses de setembro a março, com baixos índices pluviométricos e maior velocidade eólica, tendo o mês de novembro com menor pluviometria média e maior média de velocidade dos ventos; e uma estação mais chuvosa entre março e agosto, onde se tem as maiores cotas pluviométricas anuais e velocidade dos ventos baixa, diminuindo a intensidade do transporte eólico (BARBOSA, 1997) (Figura 2). A diferença pluviométrica entre a área das dunas e seus arredores é resultado, segundo Diniz e Souza (2019), da mudança do gradiente de pressão, que é condicionado pela morfologia de uma superfície de baixas altitudes nas proximidades do baixo Rio São Francisco

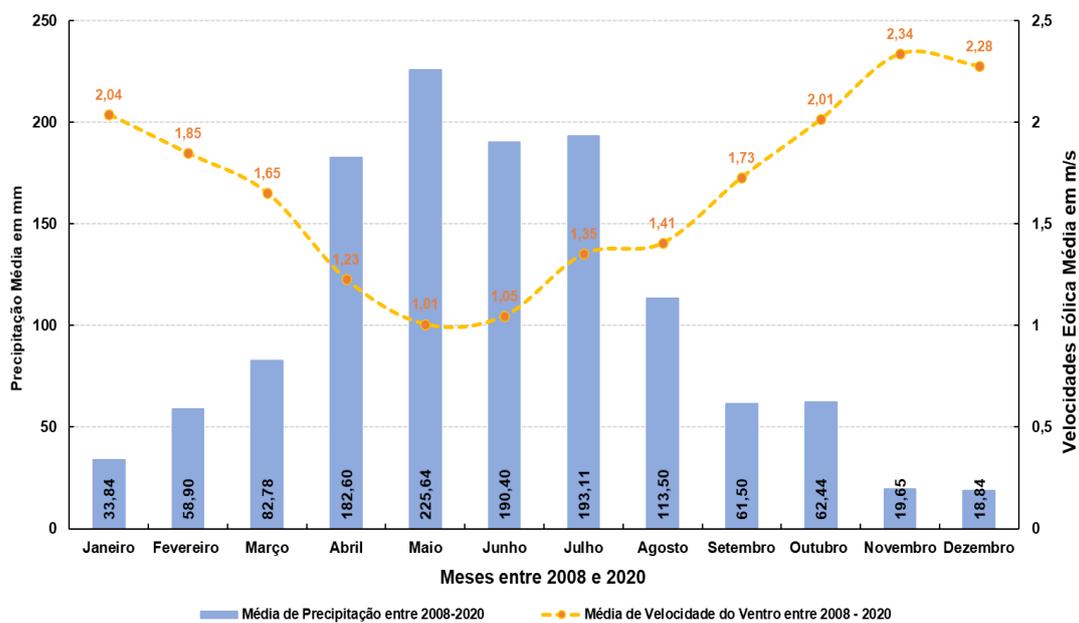


Figura 2. Relação entre precipitação e velocidade do vento da estação de Brejo Grande-SE, a 1 quilômetro do SEBSF. Percebe-se a redução da velocidade do vento com o aumento da pluviometria. Fonte: Elaborado pelos autores com dados de INMET (2021).

Os ventos predominantes na região são 66,82% considerados como calmos, amenos, estando abaixo dos 5,1 m/s variando entre 2 a 3 m/s, ventos geralmente não propícios ao transporte eólico, concentrados principalmente nos períodos chuvosos, entretanto, nos períodos secos tem-se o aumento da velocidade chegando até 8 m/s. Os ventos mais efetivos incidem orientados no sentido NE-ENE com 41,60% de todos os ventos da região (Figura 3).

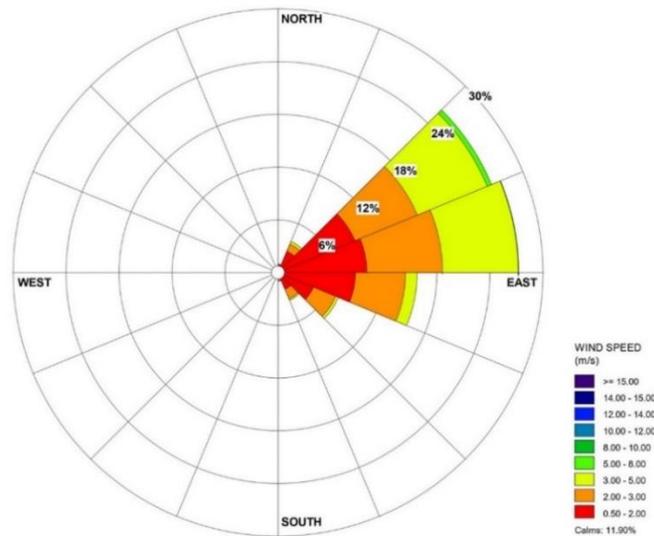


Figura 3. Incidência e amplitude dos ventos na estação de Brejo Grande-SE entre 2008-2020, em área a 1 quilômetro de distância da área de estudo, também composta por dunas. Fonte: Elaborado pelos autores com dados de INMET (2021).

3. Materiais e Métodos

A estrutura geral do estudo perpassou pela organização de algumas etapas que abrangeram os processos iniciais de orientação do mapeamento, obtenção de dados, processamento, construção das bases, validação em campo e construção do presente estudo, cada etapa será apresentada a seguir.

3.1. Orientação do mapeamento

Para realização do mapeamento geomorfológico, foi aplicada a metodologia de compartimentação em unidades e conjunto morfológicos, levando-se em consideração aspectos morfodinâmicos dos sistemas eólicos, de forma a agrupar os conjuntos do relevo com estruturas morfológicas semelhantes. Para isso, foram utilizadas as propostas de Martinho (2004; 2008), Giannini (2007), Guedes (2012) e Giannini et al. (2014), estudos que agruparam os conjuntos morfológicos semelhantes, baseando-se nos processos de entrada (influxo) e saída (efluxo) de energia e matéria. Sendo assim, foi realizada a compartimentação com base nas formas e padrões propostos pelos autores elencados na fundamentação teórica, além da identificação de formas eólicas de detalhe como retrocordões, rastros lineares e cristas de dunas (**Figura 4**).

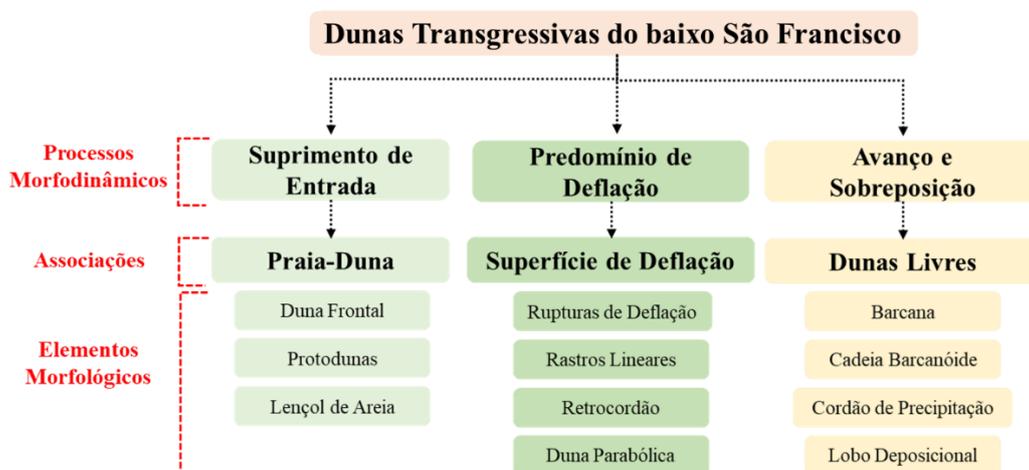


Figura 4. Fluxograma dos processos e elementos mapeados, adaptado e semelhante as matrizes metodológicas utilizadas por Martinho (2004), Giannini (2007), Guedes (2012) e Giannini et al. (2014). Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3.2. Obtenção dos dados

Os dados obtidos para o mapeamento foram uma imagem Worldview-3 de janeiro de 2018, além de bases mais recentes extraídas do *software* Google Earth Pro 2.11, de onde foram obtidas imagens orbitais Worldview mais recentes de dezembro de 2019, que foram georreferenciadas com base na imagem mais antiga, ambas as imagens serviram para a delimitação dos conjuntos de associações. Para aferição da altimetria foram utilizados os dados de elevação ALOS Global Digital Surface Model - AW3D30, de 30 metros de resolução espacial imageados entre 2006 e 2011, obtidos através da plataforma OpenTopography (<https://opentopography.org/>), permitindo a identificação das principais macroformas na escala do estudo, setorização as principais formas.

3.3. Processamento dos dados

Inicialmente, foi selecionada no Google Earth Pro a imagem mais recente da área de estudo, datada de 12/01/2019, exportada e georreferenciada, corrigindo ocasionais deslocamentos e distorções. A partir disso, foi realizada uma delimitação baseada em fotointerpretação das formas eólicas no *software* QGIS 3.10. Vale citar que os dados de elevação disponíveis gratuitamente para toda a área de estudo não são suficientemente detalhados para verificação de algumas tipologias eólicas, especificamente as formas livres, por este motivo optou-se por utilizar imagens orbitais em alguns setores. Mas, a critério de observação, nas porções mais elevadas do sistema eólico, foram utilizados os dados de elevação, permitindo a identificação das principais formas.

3.4. Validação do mapeamento

Após a setorização geral, houve a validação em campo, onde foi realizado dois trabalhos de campo: o primeiro realizado dia 12/11/2019 e o segundo em 20/01/2020, ambos nos meses secos, corrigindo as principais distorções do mapeamento. Mediante a validação foi possível construir um mapa geomorfológico da área na escala 1:50.000, além de zoom de escala em algumas porções para maior detalhamento.

4. Resultados

A área estudada apresenta uma diversidade de formas eólicas em toda sua extensão, compondo um sistema eólico complexo semelhante aos descritos por Pye e Tsoar (2009) e Mountney (2006a). Existem desde pequenas morfologias, como dunas com face de avalanche pouco desenvolvidas, até extensas formas barcanóides sobrepostas, ambas relacionadas aos padrões sazonais distintos de distribuições energéticas de vento ao longo SEBSF, resultando em alta variabilidade de formas de leito, comuns a ambientes eólicos complexos como citado por Hesp (2000). A partir da compreensão entre os sistemas de influências e tipologias de formas eólicas, foi possível fazer inferências sobre sua modelagem atual e pretérita. Apesar de representar um passo inicial na compreensão da dinâmica do relevo, o mapeamento geomorfológico, como o que foi elaborado, representa uma etapa importante na compreensão e espacialização dos sistemas naturais da área.

A área mapeada apresenta cerca de 37,35 km², com predomínio do transporte eólico sobre o processo de colonização vegetal, como identificado por Barbosa, (1997) e calculado por Silva (2021), distinguindo-se topograficamente em suas zonas frontais e zonas periféricas, em relação ao oceano. Tal contexto promove a existência de uma série de desníveis topográficos, que permitem a individualização de conjuntos de formas com características semelhantes, marcados pelos desníveis topográficos da ordem de 20 a 30 metros (**Figura 5**). Assim como também é possível setorizar também conjuntos de processos comuns atuantes em cada extrato topográfico.

O SEBSF apresenta diversos padrões morfogenéticos relacionados a processos morfodinâmicos distintos, associados a entrada, movimentação, fixação e remoção das areias. Neste sentido, foram identificados 3 conjuntos morfológicos: o sistema praia-duna, superfície deflacionária e dunas livres. Cada um desses conjuntos representa um estágio evolutivo costeiro com influência eólica.

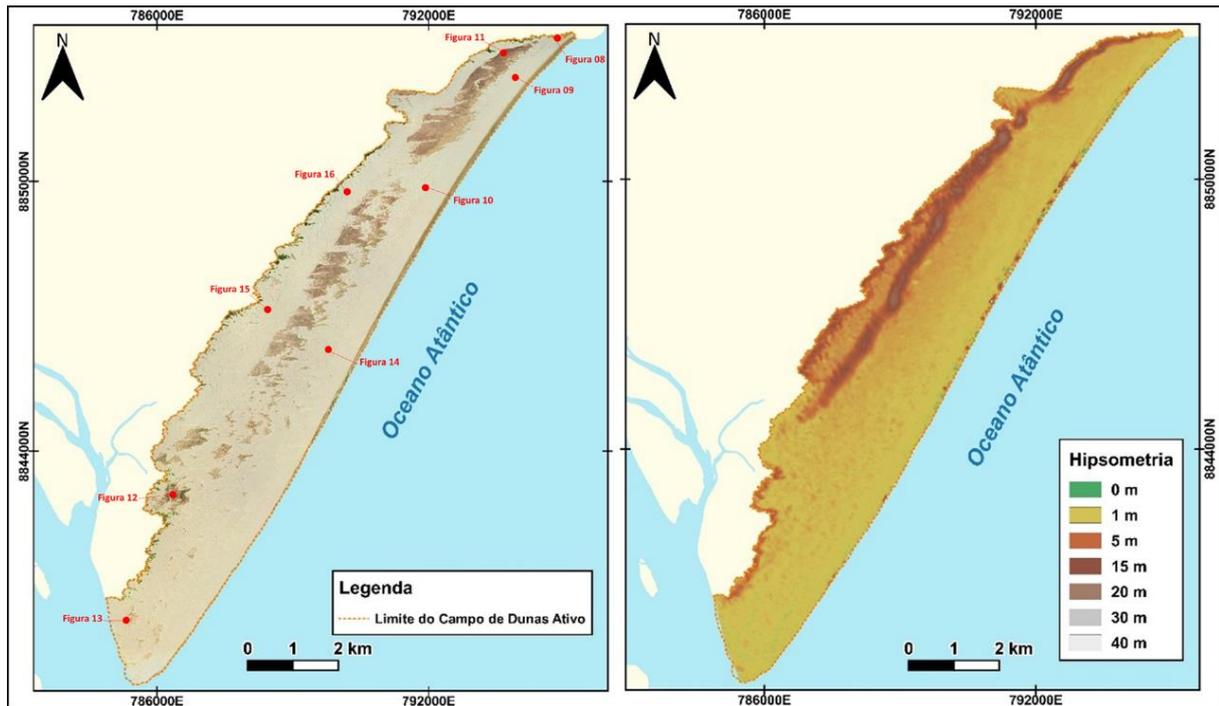


Figura 5. Sistema eólico do baixo São Francisco em relação a sua estrutura natural e seu contexto morfológico; os pontos em vermelho indicam a localização das imagens apresentadas a seguir no presente estudo; a esquerda pode-se observar a clara distinção de áreas vegetadas e não vegetadas. a direita no MDE pode-se observar que as porções mais elevadas da área encontram-se na periferia. Fonte: Elaborado pelos autores com dados de Google Earth Pro (2021), imagem Worldview de janeiro de 2019 e Google Earth Engine (2021), dados de elevação ALOS de 2011.

4.1. Geomorfologia do SEBSF

Na área tem-se o desenvolvimento de formas relacionadas a processos de entrada e acomodação de materiais eólicos. Neste sentido, a seguir, serão abordados os conjuntos de associações eólicas ligadas a processos nos três conjuntos morfológicos, os sistemas praia-duna, as associações deflacionárias e de dunas livres.

Os três conjuntos do setor do SEBSF apresentam proporções diferentes com maior representatividade de dunas livres, cerca de 60% da área, seguido pelo sistema praia-duna com cerca de 23% e por último as superfícies deflacionárias com cerca de 17% (Figura 6).

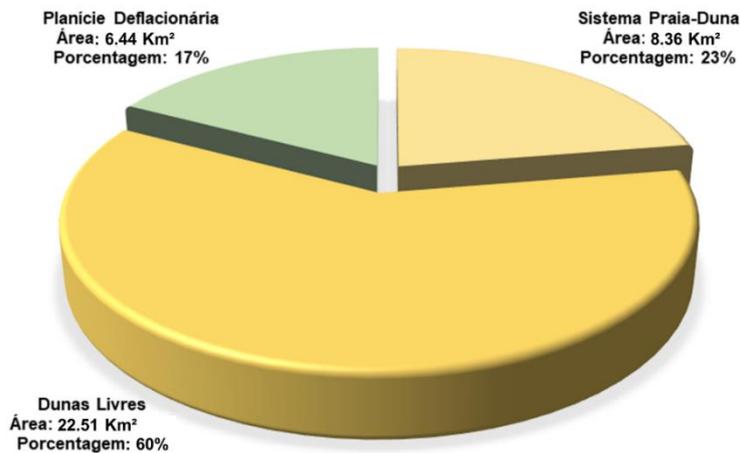


Figura 6. Áreas, em quilômetros quadrados, das associações do SEBSF. Percebe-se a predominância da associação dunas livres, o que caracteriza o sistema eólico como ativo. Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Como pode ser observado na **Figura 7**, os conjuntos de associações encontrados no sistema eólico estão perfeitamente organizados num sistema característico de contextos evolutivos maduros, do tipo ABC – III, na classificação de Giannini (2007), encontrando-se assim, no sistema eólico do baixo São Francisco, contextos evolutivamente avançados.

4.1.1. Conjuntos de associações do sistema praia-duna

Essa área assinala a entrada e remobilização inicial de material arenoso, entendido por Tomazelli (1990) como “corredores de alimentação”, onde o suprimento de areia é removido da face praial durante a maré baixa ou em estágios de elevação generalizada do nível do mar (ANDREUCCI et al. 2010), transportando esses sedimentos em direção às porções interiores que, de certa forma, pode retardar ou mesmo evitar o desaparecimento do sistema eólico. São caracterizadas pelo movimento constante de areia, e sua formação é o ponto de partida para a gênese de campos de dunas embrionários e até grandes campos de dunas transgressivas (MARTINHO, 2004). Dentre os conjuntos de associações, é o mais sensível a alterações funcionais, podendo apresentar superávits e déficits de suprimento de areia, associados a eventos erosivos e deposicionais decorrentes da dinâmica marinha, a área fonte de sedimentos. Sua modelagem é controlada por dois processos principais, a morfodinâmica da face praial e a incisão inicial de ventos frontais, resultando na formação de 2 formas principais, além da própria praia subentendida como forma interior do sistema, as dunas frontais (HESP, 2002; FERNANDEZ, 2018) e os lençóis de areia (GIANNINI, 2007).

As dunas frontais representam acúmulos contínuos de areia em meio à vegetação no interior de zonas de pós-praia ou antepraia superior. Geralmente iniciam-se com a formação de uma duna incipiente que evolui em amplitude, assumindo complexidade, podendo gerar dunas parabólicas secundárias (HESP, 2002). Na área, as dunas frontais não se apresentam ao longo de todo sistema eólico, elas estão presentes apenas em um setor, no extremo norte (**Figura 08**). De acordo com Hesp (2002), a formação e modelagem de dunas frontais está relacionada a dois principais fatores: a ocorrência de uma maior taxa de crescimento de vegetação frente a sedimentação eólica; e a maior taxa de ocorrência de inundações costeiras imprimidas por ondas de tempestade e direção do vento. Portanto a modelagem das dunas frontais do SEBSF pode estar associada a baixa sedimentação e ocorrência de extravasamentos marinhos.

Nos demais setores, os depósitos arenosos parcialmente vegetados próximos a linha de costa não assumem grande amplitude, caracterizando apenas franjas de areia, definidas como pequenas ondulações semi-vegetadas, por vezes, são encontradas em bases de dunas frontais, segundo Martinho (2004), podendo representar estágios iniciais de desenvolvimento eólico frontal. A área com presença dessa forma eólica apresenta usos ligados à atividade agrícola, com plantações de coqueiros que avançam sobre terraços e dunas.

Os lençóis de areia podem ser compreendidos como depósitos arenosos com pouca mobilidade formados por pequenas ondulações (Wind ripples), que são as principais formas de leito encontradas nesse contexto (KOCUREK e NIELSON, 1988), e quase sempre sem superposição de dunas com face de avalanche. Nestas áreas é comum a existência de montículos tabulares e a formação de dunas *nebkhas*. Na área há a formação de um extenso lençol de areia que interioriza a uma faixa de aproximadamente 300 metros da linha de costa, ocupando boa parte das áreas frontais do SEBSF, com exceção das áreas ribeirinhas. Em sua extensão, é acompanhado por dunas *nebkhas* associadas à vegetação arbustiva (**Figura 9**), compondo as formas mais representativas encontradas no interior do modelado. Seu contato com as dunas livres é composto por rupturas de deflação bem marcadas e montículos vegetados.

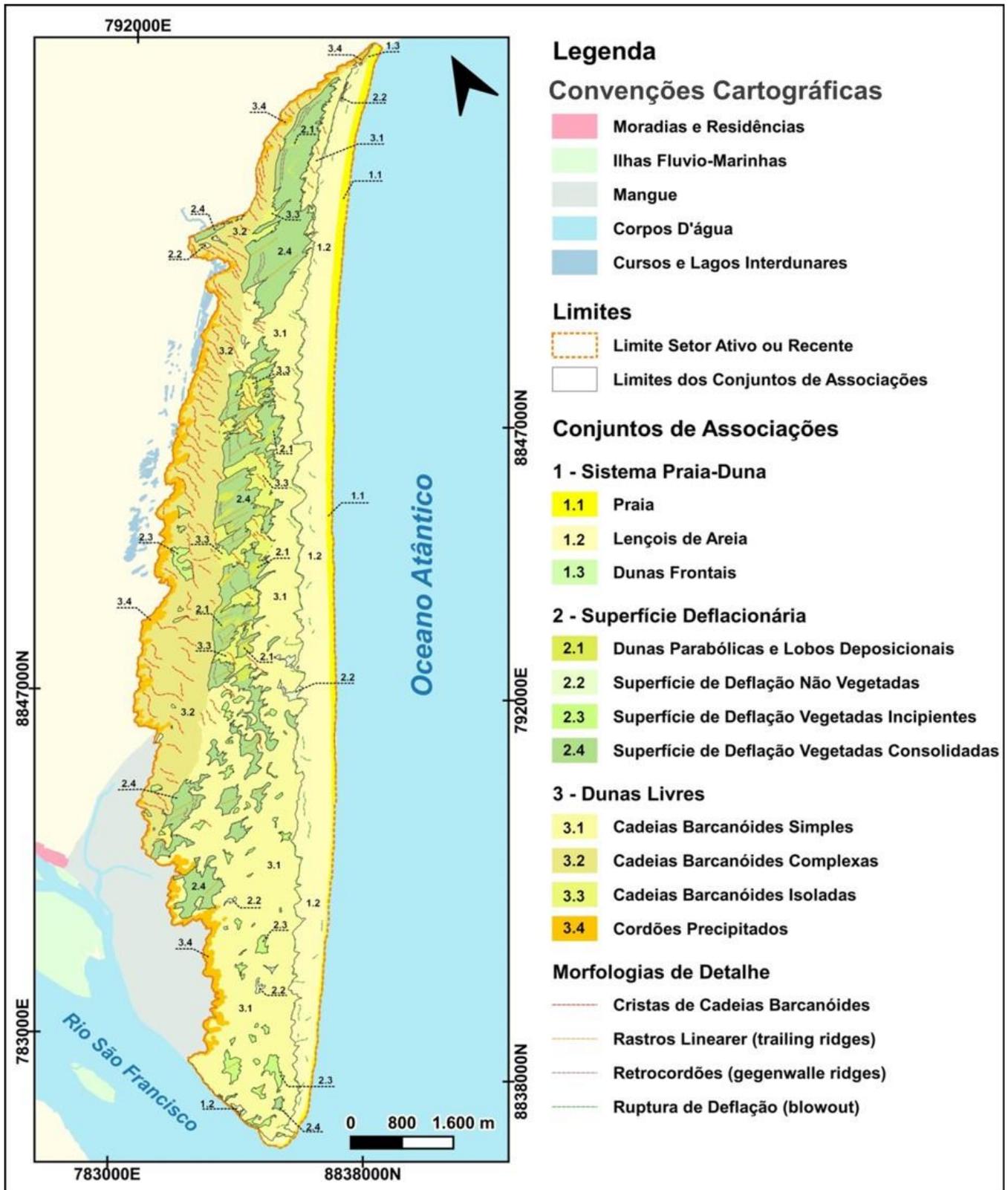


Figura 7. Mapa geomorfológico, apresentando os conjuntos de associações por elementos morfológicos. No mapa é possível observar que se tem marcante distinção de norte a sul do sistema eólico especificamente em relação a organização e distribuição das formas. Fonte: Elaborado pelos autores (2021).



Figura 8. Dunas frontais na porção norte do sistema eólico. Formas imaginadas em janeiro de 2019. Fonte: Google Earth Pro (2021).



Figura 9. Lençóis de areia com dunas *nebkhas* embutidas. Perceber-se que onde há presença de vegetação rasteira mais adensada, tem-se a formações de maiores montículos de areia. Fonte: acervo dos autores (2021).

A incidência de ventos unidirecionais sobre areias coesas pode ocasionar a formação de *yardangs*, entendidos como relevos erosivos esculpidos em material coeso em polimento, onde quase sempre são paralelos a direção do vento (MCCAULEY et al., 1977; DONG et al., 2012), comumente são ricos em argila, por ação pedogenética, em áreas submetidas a maior umidade sazonal que, ao ser afetada por ventos constantes, formam pequenos montículos polidos pela ação eólica. As principais formas de polimento eólico foram encontradas em zonas periféricas do lençol de areia, em contato direto com dunas livres ou com as superfícies deflacionárias (**Figura 9**). Esse polimento eólico se dá pela exumação de níveis mais compactados e argilosos pela ação da própria remobilização eólica e pequenas incisões de origem pluvial, gerando o que seria um estágio inicial da formação de eolianitos, semelhantes aos encontrados em diversas regiões do Brasil, que em longo prazo, quando permanentes na superfície, são ricos indicadores paleoambientais (ARIAS, 2020).



Figura 10. Mosaico de pequenas morfoesculturas eólicas (*yardangs*) encontradas nas zonas periféricas dos lençóis de areia em localizações distintas. Observa-se as marcas de retrabalhamento eólico em meio as estratificações ao se observar as estruturas lineares encontradas. Fonte: acervo dos autores (2021).

4.1.2. Conjuntos de associações deflacionárias

Os conjuntos relacionados a processos deflacionários são caracterizados por predomínio da deflação sobre a deposição eólica, caracterizado morfologicamente como área aproximadamente plana composta por areias com alto grau de coesão devido à umidade que se acumula nos períodos chuvosos (HESP, 2000; MARTINHO, 2004). Sua modelagem está associada a dois processos, quando seu substrato se encontra incoeso em períodos secos há a ocorrência de migração de ondulações de vento (*Wind Ripples*), formando rastros lineares e retrocordões, e na presença de barramentos pode formar dunas parabólicas ou mesmo reativar superfícies antes vegetadas. Quando o material se encontra coeso é comum o aumento do aporte vegetal, recobrando e aderindo materiais antes expostos à movimentação, neste contexto os processos de deposição eólica são realizados por ventos de alta velocidade, formando, por vezes, estruturas de adesão, compostas de areia úmida fortemente compactada (GIANNINI, 2007).

As superfícies deflacionárias apresentaram 4 padrões principais relacionados a seus processos de colonização vegetal, as superfícies mais amplas apresentam densa cobertura vegetal com padrões arbustivos recobrando toda sua extensão (**Figura 11**), que em suas extremidades possuem áreas parcialmente descobertas, relacionadas a processos de reativação eólica progressiva, em outras palavras, avanço das dunas sobre a vegetação. As outras duas superfícies representam estágios de reativação parcial ou total, com presença ou ausência de vegetação. Quando há processos de reativação nestas zonas é comum a formação de lobos deposicionais, entendidos como montículos de acumulação sem forma definida, sobrepostos a vegetação arbustiva e herbácea (FERNANDEZ et al., 2017), e dunas parabólicas perpendiculares ao eixo maior de distribuição da zona de deflação. Ambas as formas são ocasionadas pelo transporte de material arenoso remobilizado dos lençóis de areia capturados pela vegetação arbustiva/herbácea ou dunas *nebkhas*.

Algumas superfícies de deflação, quando próximas a cursos de água e/ou áreas alagadiças, por afloramento do lençol freático, podem apresentar vegetação densa e contextos de ocupação e uso das terras. Por possuírem substrato arenoso bastante coeso, combinado a uma vegetação adaptada ao contexto arenoso dos solos porosos e pouco desenvolvidos pedogeneticamente, a superfície acaba por ser bastante resiliente aos processos erosivos eólicos. Coincidentemente (ou intencionalmente) ligados à maior oferta de água, predominantemente subterrânea, o principal povoado da área, o Pixaim (**Figura 12**), está localizado no interior de uma destas áreas.

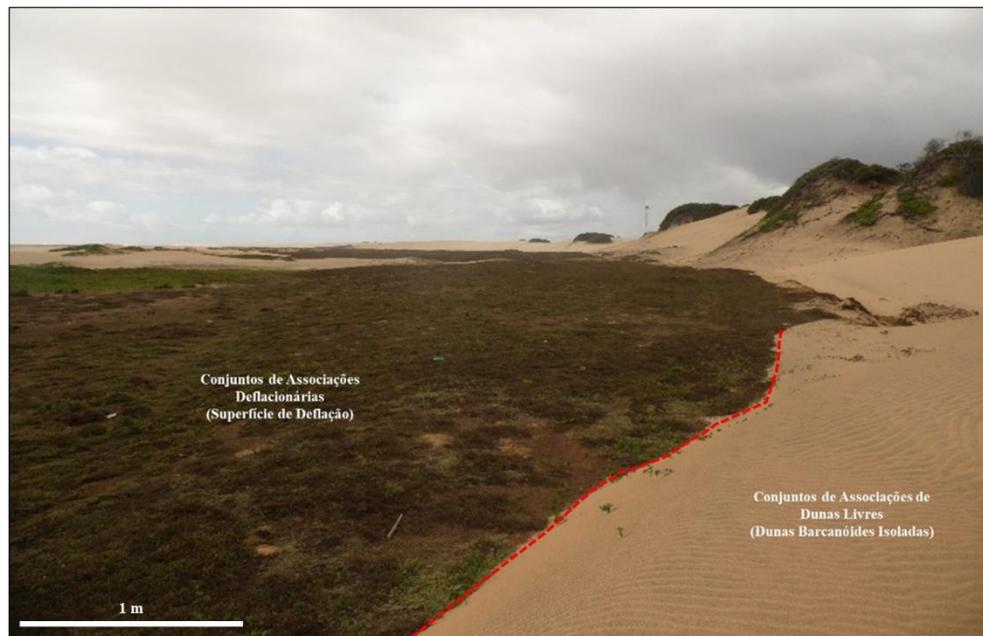


Figura 11. Superfície de deflação vegetada na porção norte do sistema eólico. Observa-se processo de transição suave entre os conjuntos de associações deflacionárias e livres. Fonte: acervo dos autores (2021).



Figura 12. Povoado Pixaim inserido em superfície de deflação. Nestas áreas planas ocorrem constantes afloramentos de água, inclusive aproveitados pelas populações com abertura de cacimbas e poços artesanais. Fonte: Ricardo Cattanio (2018).

As áreas parcialmente vegetadas e não vegetadas apresentam situação de instabilidade, uma vez que a depender do período do ano podem ser facilmente recobertas por novas areias ou ter seus níveis superficiais remobilizados, a depender da sazonalidade climática. Estas áreas localizam-se mais próximas à foz do São Francisco (**Figura 13**), onde em períodos chuvosos podem formar pequenos lagos sazonais e efêmeros.

Nos processos de reativação eólica, entendidos como a retomada dos processos de transporte eólico, em áreas antes vegetadas, a depender da forma de incisão do vento e do tipo de vegetação, podem se formar dunas parabólicas ou montículos de areia sem forma definida. Na área ocorrem diversos exemplos dessas morfologias, concentrados na porção central, área de sobreposição intensa de areias, além da porção norte, com a maior forma parabólica do conjunto relacionado a deflação. Nos processos de reativação das superfícies deflacionárias, tem-se a colonização vegetal dos depósitos arenosos inconsolidados, estabilizando as formas eólicas, gerando uma infinidade de morfologias como retrocordões, dunas parabólicas complexas estabilizadas e dunas *nebkhas*.



Figura 13. Superfícies de deflação próximas à desembocadura do Rio São Francisco. As superfícies de deflação próximas a desembocadura possuem tendência a sobreposição pela maior disponibilidade de sedimento portanto são incipientes por sua instabilidade. Fonte: Fernando Alexandre (2019).

Nas superfícies de deflação, a nível de detalhe das formas (locais), pode ocorrer a formação de rastros lineares, entendidos como faixas de areia lineares resultantes da canalização do vento sobre uma superfície reativada, e os retrocordões como cúspides arenosas, comumente com orientação paralela ao vento efetivo. Em períodos chuvosos essas áreas são mais facilmente alagadas e concomitantemente vegetadas, com crescimento de barreiras vegetais, ambas estão relacionadas às sazonalidades meteorológicas de maior precipitação.

4.1.3. Conjuntos de associações de dunas livres

As dunas livres, como o próprio nome pressupõe, são compostas por áreas de areias livres, predominando os processos de remodelamento contínuo, formando uma diversidade de formas barcanas e barcanóides. Na área foram identificados 3 padrões principais relacionados aos processos de sobreposição no sistema de dunas livres, dunas livres simples, complexas e isoladas, corroborando com Barbosa (1997) e Lima et al. (2004).

As cadeias barcanóides simples são compostas por ondulações simétricas muito bem delimitadas, com baixo grau de sobreposição, geralmente são baixas, com amplitudes que variam entre 1 e 5 metros, tendo na porção norte suas menores amplitudes, enquanto que na porção sul assumem patamares mais altos. Geralmente são acompanhadas de cristas muito bem delimitadas e superfícies de deflação (**Figura 14**), separando porções interdunares. Sua formação está relacionada à deposição eólica em condições de baixa velocidade de ventos, em ambiente de energia baixa a moderada.

As dunas simples, quando exposta a cenários de elevado suprimento de sedimentos, combinados à alta capacidade de transporte de areia pelo vento, é comum que haja a união de uma série de dunas simples, formando cadeias de dunas barcanóides, compreendidas como dunas complexas ou ainda megadunas (MOUNTNEY, 2006b).

Nas proximidades do limite entre as superfícies deflacionárias e as dunas livres há a formação cadeias barcanóides isoladas, o que corresponde a processos transicionais entre as dunas simples e complexas, que transgridam, em processos gradativos, de um cenário para o outro, por vezes possuindo proximidade com áreas deflacionárias.

Alguns autores reconhecem a existência de um contexto transicional, aos quais esses conjuntos se enquadram, entre dunas livres e ancoradas, as dunas semifixas, caracterizadas pela mesclagem de vegetação ancoradora ou contato em seus limites e o livre transporte de sedimentos, formando empilhamentos sistemáticos de estratos sedimentares com barramentos efetivos que condicionam o crescimento vertical da duna (FERNANDEZ, 2017; BRISTOW; MOUNTNEY, 2013). Apresentam amplitude semelhante às cadeias barcanóides complexas no interior do sistema eólico, cristas bastante alongadas, por vezes sobrepostas, e na área são encontradas na porção central, principalmente.

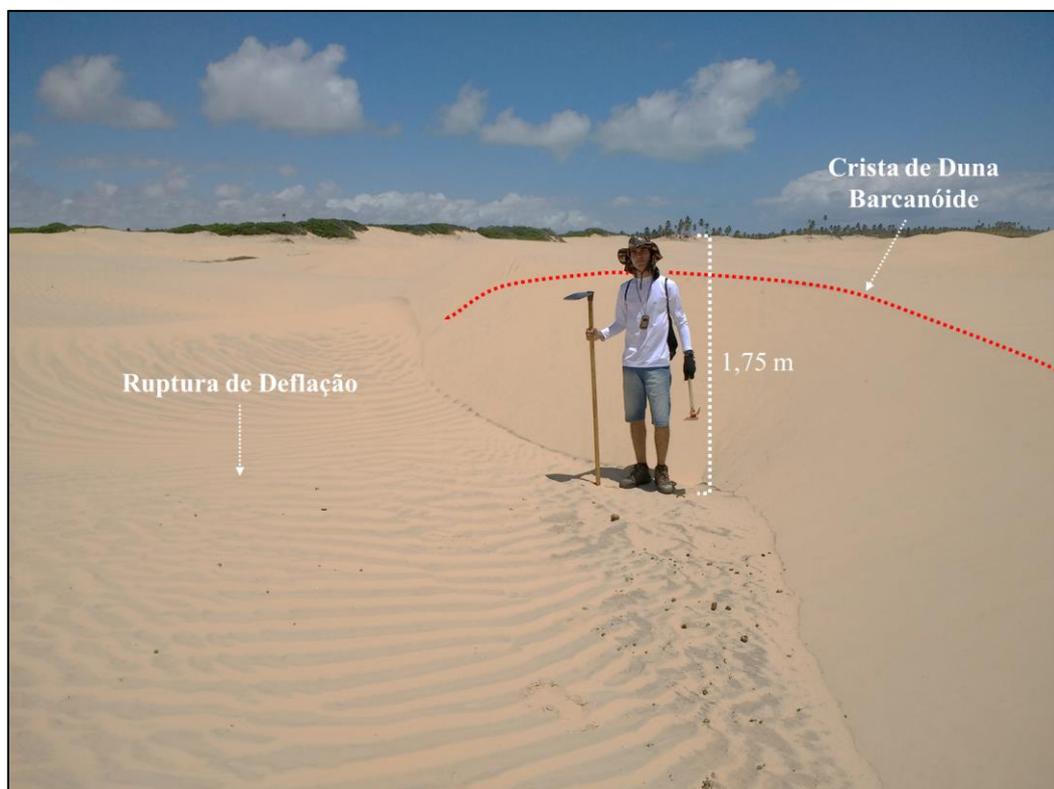


Figura 14. Em detalhe cristas de dunas simples (limites lineares que dividem a face de avalanche e a frente de avanço de uma duna) acopladas a rupturas de deflação (área de remoção de areia nas porções interdunares). Percebe-se o baixo padrão das dunas provenientes de constante retrabalhamento pela proximidade com a área fonte. Fonte: acervo dos autores (2021).

Essas morfologias são controladas pelas rajadas de ventos mais fortes, estando setorizadas na porção mais interior da área as cadeias barcanóides complexas (**Figura 15**), representando os compartimentos mais elevados do sistema eólico, com média altimétrica de 25 m, compondo sucessivas ondulações sobrepostas e formando cristas altas e alongadas em posição transversal à direção preferencial dos ventos. Alguns autores reconhecem este padrão eólico como dunas transversais, levando em consideração os aspectos geométricos mais alongados ou ainda podem ser compreendidas como Megadunas pelo alto grau de sobreposição e cavalgamento (MOUNTNEY, 2006b). Apesar de serem controladas por rajadas de vento mais fortes, possuem como fator de verticalização a presença de cordões de precipitação e morros residuais no limite do setor, que representam os contrafortes estruturais da verticalização das dunas.



Figura 15. Em detalhes, sobreposição sucessiva de cristas em cadeia barcanoide complexa. É possível observar na imagem o alto nível de sobreposição e o acoplamento de cristas que demonstram um cenário “complexo” com retrabalhamento multidirecional. Fonte: acervo dos autores (2021).

Os cordões precipitados são pilhas cônicas alongadas de areias ligadas a fluxos de “queda” de grãos em meio à vegetação, provenientes da redução da energia eólica ao friccionar as dunas barcanóides complexas. São encontrados nas margens interiores de campos de dunas e às vezes em margens frontais de dunas livres, morfologias bastante declivosas, tendo em sua face frontal as zonas de maior declive, assimétricas à forma da vegetação de aporte. Sua presença está condicionada pelo baixo aporte sedimentar e redução do ímpeto eólico. Quando há um aporte sedimentar alto ou rajadas de vento muito fortes tendem a processos erosivos, formando grandes lobos deposicionais nas faces de avanço. Essas morfologias foram mapeadas em porções mais densamente vegetadas da área, concentradas na porção central, enquanto que nas porções descobertas apresentam-se como frentes de avanço de dunas, especialmente localizadas na porção norte e avançando no sentido norte-noroeste, através de amplas faces de migração (**Figura 16**).

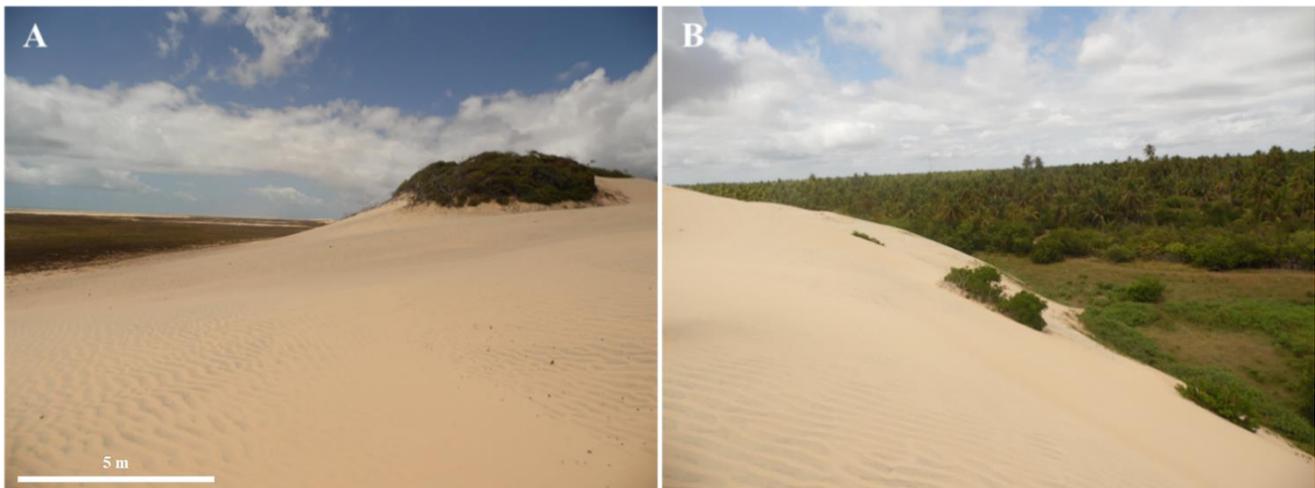


Figura 16. Em detalhes dois contextos distintos: A - Cordões de precipitação fortemente verticalizados; B - Lobo deposicional colapsado, sobrepondo vegetação de contenção. Fonte: acervo dos autores (2021).

4.2. Interpretações da dinâmica geomorfológica do SEBSF

Com base nas formas mapeadas pode-se inferir algumas relações sobre o controle da dinâmica geomorfológica, sobretudo no que diz respeito aos fatores modeladores, levando em consideração alguns aspectos factíveis no controle do sistema eólico, como a presença da vegetação ancoradora, amplitude do aporte sedimentar de entrada e o potencial eólico efetivo, e secundariamente a rugosidade do terreno. Na correlação das

variáveis de controle do sistema eólico, identificou-se processos distintos para cada elemento, que serão apresentados a seguir.

A presença de vegetação ancoradoura, inserida no interior das superfícies de deflação é, de acordo com Hesp (2000), essencial para modelagem e manutenção do sistema eólico, sobretudo por seu papel de armazenamento de matéria útil para o sistema, além de ser uma zona de passagem. As superfícies de deflação no sistema em questão apresentam-se mais alongadas na porção norte, como verificado por Silva (2021) apresentam limiares de estabilidade e avanço multidirecional, o que não se encontra na porção sul, onde gradativamente tornam-se rarefeitas, com vegetação e cobertura vegetal sazonalmente soterrada. As porções intermediárias em especial apresentam a mesclagem dos dois processos, taxas de movimentação constante e soterramento em algumas porções, como identificado por Silva (2021) analisando as séries temporais de vegetação e sedimento exposto através de dados Landsat, identificando estabilização de dunas livres nas porções intermediárias e ocasionando o surgimento de morfologias como as cadeias parabólicas e rastros lineares. Portanto, provavelmente a porção com vegetação mais competente para conter o fluxo arenoso, lançado pelo vento, está inserida na porção norte.

O aporte sedimentar de entrada é essencial a manutenção dos processos de morfogênese no sistema eólico, sendo uma das principais variáveis envolvidas na dinâmica eólica. Na área, o aporte sedimentar advém da carga fluvial do baixo São Francisco e marinha, que insere quantidades consideráveis de sedimentos finos na plataforma continental rasa, onde Medeiros et al. (2007), identificou uma quantidade considerável de sedimentos particulados depositados em múltiplas direções na foz do Rio, mesmo contra a corrente longitudinal, estes por sua vez possivelmente são depositados na zona de entrada do sistema. A deposição de sedimentos do Rio São Francisco se dispersa em leque, de acordo com Medeiros et al. (2007), inserindo grandes quantidades de sedimentos de variados tamanhos na direção sul e sudeste para as quais predomina a corrente longitudinal, assim como também dispersa quantidades consideráveis de sedimentos para norte em particulados, contemplando inclusive até porções intermediárias da periferia do SEBSF, como pode-se observar na **Figura 17**.



Figura 17. Material em suspensão na foz do Rio São Francisco em novembro de 2004. Percebe-se orientação predominante nas direções sul e sudeste para as quais predomina a corrente longitudinal, com presença inferior para norte. Fonte: Google Earth Pro (2021).

Mesmo com considerável aporte, a entrada de sedimentos é distinta ao longo do sistema eólico, sendo bastante representativa na porção sul, onde o material além de sofrer remobilização eólica também é impactado pelos processos abrasivos, constantemente formando *spits* arenosos e/ou ilhas barreira. Ao se distanciar da desembocadura os processos deposicionais são relativamente mais controlados, gerando possivelmente distinções de fornecimento na direção norte, ocasionando processos relativamente mais “controlados”, sendo as zonas mais estáveis do ponto de vista da organização de seus conjuntos de associações e processos deposicionais.

Em relação ao potencial eólico efetivo, o mesmo é o fundamento do sistema eólico, sendo compreendido como ventos capazes de remobilizar um grão de areia, sendo amplamente aceito o valor de 5 m/s (TOMAZELLI, 1990), a partir da incisão destes ventos, sob sedimentos não coesivos, tem-se a formação de variadas morfologias ao interagir com os distintos fatores de influência, como a existência de barreiras topográficas, vegetação, áreas coesivas e zonas de *bypass*.

O vento efetivo regional, relacionado ao SEBSF tem vetor de ação predominantemente direcionado a Sudoeste, para onde incidem os ventos mais fortes e mais secos, como analisado por Barbosa (1997), Barbosa e Dominguez (2004) e mais recentemente por Silva (2021), esses ventos interagem de formas distintas com a área, permitindo ora o avanço em direção ao continente, nas áreas mais planas, ora permitindo a interdigitação das dunas e a verticalização das mais elevadas, quando na presença de barreiras topográficas e vegetais. O potencial eólico é relativamente semelhante na região, entretanto, estima-se que nas proximidades da desembocadura do São Francisco, há um potencial representativo, como identificado pelas aferições de deriva potencial eólica realizados por Silva (2021), que setorizou valores de deriva destoantes em estações meteorológicas a sul e norte do SEBSF (Figura 18). Portanto, o potencial mecânico de deposição eólica é relativamente alto nas porções mais a sul e um pouco inferior na porção norte, gerando um maior potencial de transporte ao sul. Correlacionando-se as variáveis anteriormente mencionadas com os dados mapeados de forma geral e em detalhe, consegue-se traçar uma relação de diferenciação energética dos processos no SEBSF, como pode-se observar na Figura 19.

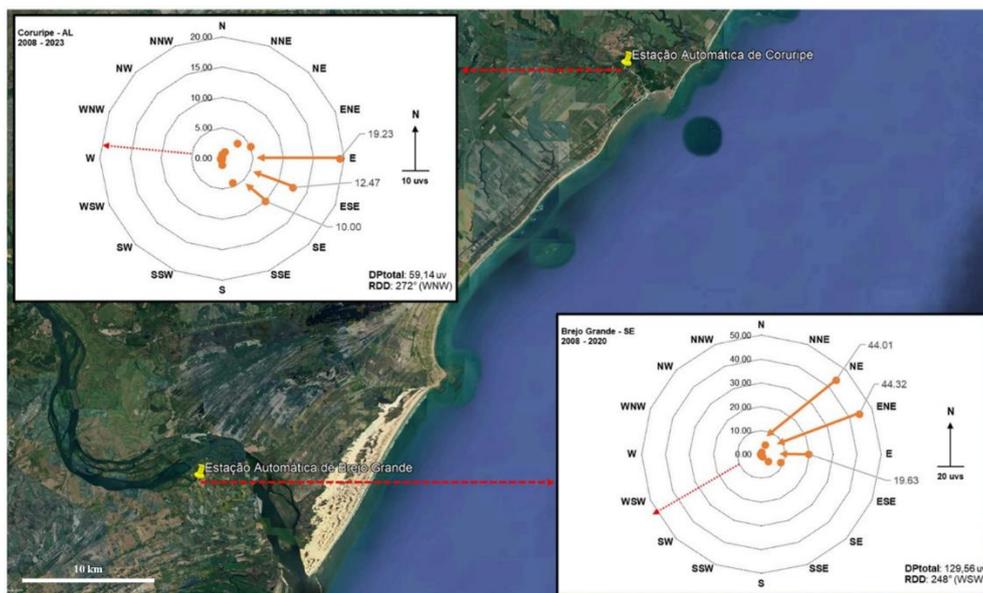


Figura 18. Deriva potencial eólica (DP) das estações de Brejo Grande (1 Km da área de estudo) e Coruripe (30 Km da área de estudo). Percebe-se valores distintos de deriva potencial entre as duas porções. Fonte: Modificado de Silva (2021).

Ao se verificar os dados obtidos e produtos gerados, percebe-se uma clara distinção entre as superfícies de deflação de norte a sul da área (primeira e segunda seções de quadros – Mapeamento e Imagens Orbitais), identificando sua rarefação parcial, acompanhada de uma complexidade das cristas de dunas que se tornam mais amplas e com interdunas relativamente largas em comparação a porção norte (terceira seção de quadros – Formas de detalhe mapeadas em linha), podendo-se assim inferir na junção com as demais variáveis que há um certo decréscimo energético de sul para norte, gerando processos mais caóticos na porção meridional, enquanto na porção setentrional tem processos mais controlados e mais estáveis. Entretanto, do ponto de vista do trabalho geomorfológico (geração e diversidade de formas) os extremos do área apresentam contextos relativamente semelhantes, possuindo perfis aplainados, pouco rugosos e baixa diversidade de formas, o que nos convém a analisar que as porções mais intermediárias (quadros e perfis 2 até 5 na Figura 18), que sobrepõe os processos caóticos e estáveis, apresentam condições propícias para o desenvolvimento de múltiplas formas e edifícios eólicos bastante verticalizados, então, nesse sentido pode-se considerar essas áreas mais propícias a morfogênese eólica, porções ideais para a formação de novas dunas.

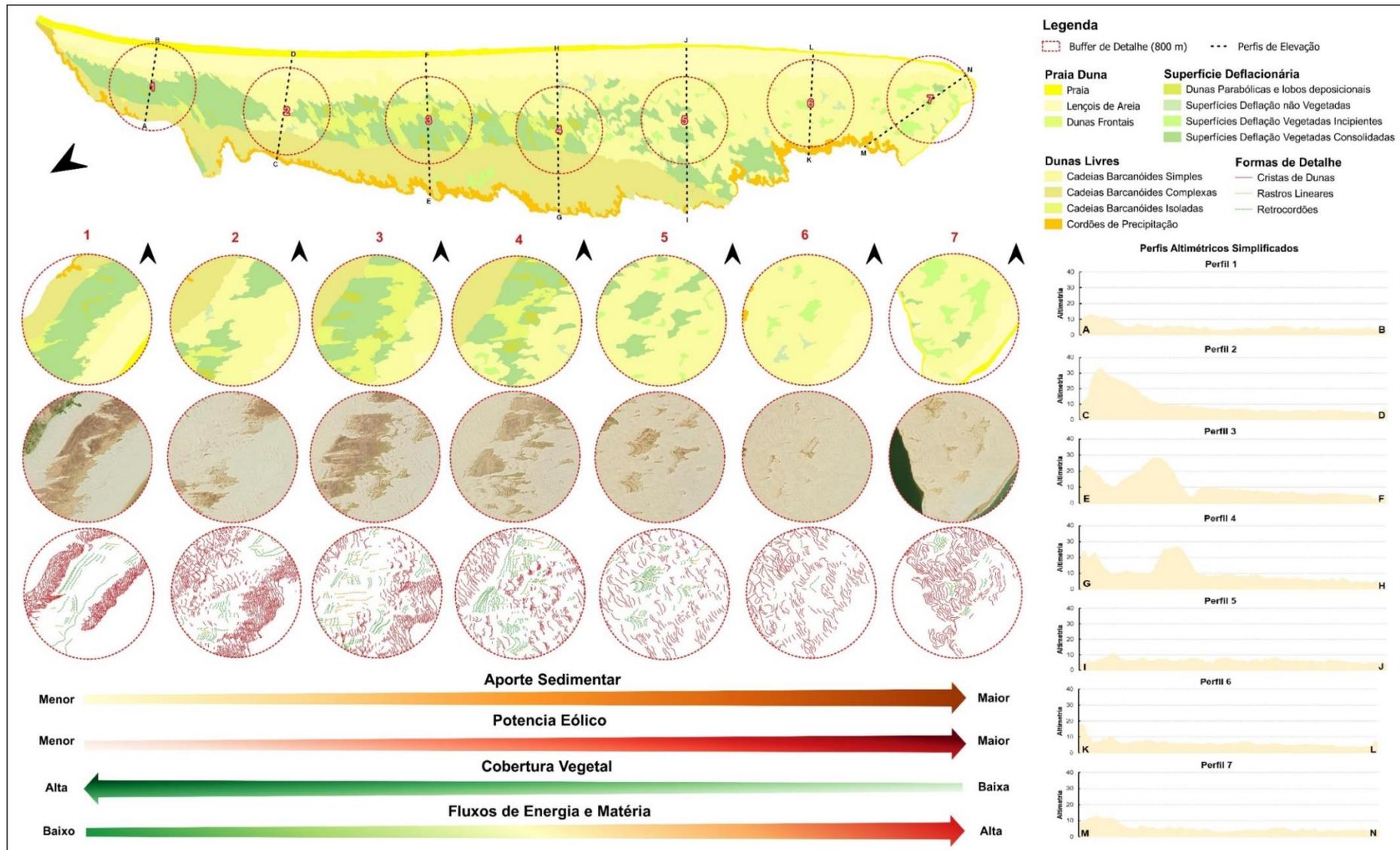


Figura 19. Relação dos dados mapeados com as variáveis de cobertura vegetal, potencial eólico, aporte sedimentar e fatores topográficos. Pode-se observar distinções claras entre as porções norte (a esquerda) e sul (a direita) do SEBSF. **Fonte:** Elaborado pelos autores (2021).

5. Considerações Finais

O presente estudo foi construído a partir da integração de variadas informações em uma única abordagem geomorfológica, permitindo a ressignificação dos estudos pioneiros realizados na área, agregando mapeamentos inéditos e novos conhecimentos relativos as organizações atuais dos modelados eólicos, a partir de novos dados e interpretações geomorfológicas.

De modo geral, a metodologia utilizada se mostrou promissora no atendimento aos objetivos propostos inicialmente, viabilizando os resultados, permitindo sua execução de forma efetiva e detalhada, levando a informações robustas, utilizando tecnologias *open source* e dados abertos. Possibilitando a atualização das bases de dados presentes na bibliografia sobre a região, além de possibilitar a aquisição de dados e interpretações novas na área. Com base nisso, pode-se afirmar que a metodologia foi efetiva e deve ser viável de replicação em outras localidades e contextos similares.

Os dados relativos ao mapeamento geomorfológico, permitiram a identificação dos modelados do SEBSF, seus principais conjuntos de associações, indicando uma tendência de avanço das dunas em direção ao continente em perspectivas futuras, atualizando e refinando as bases e interpretações já existentes na bibliografia. Ainda foi possível identificar o que seriam as condições ideais para a diversificação de formas e a verticalização das dunas, no contexto analisado, possibilitando uma análise integrada dos processos atuais.

A análise de campos de dunas costeiras, ao longo da revisão bibliográfica e correlações, mostrou-se uma temática geomorfológica e sedimentológica bastante complexa, tendo em vista que estes tipos de sistemas beiram o comportamento caótico, sendo bastante complexos processualmente, necessitando de um acompanhamento contínuo e detalhado de suas dinâmicas de curto, médio e longo prazos, tendo em vista sua sensibilidade elevada e sua peculiaridade mecânica, controlada pela interdigitação de processos. É nesse contexto que se insere o estudo aqui apresentado ao tentar compreender esses sistemas, explorando um nicho relativamente pouco discutido na Geomorfologia Brasileira, ao menos no tocante ao contexto da área estudada.

Por fim, vale delimitar que o presente estudo e, conseqüentemente seu levantamento, pode ser utilizado como ferramenta de avaliação e implementação de políticas públicas de ordenamento do território costeiro, através de uma base física de interpretações confiáveis baseadas em bibliografias clássicas e um mapeamento em escala de detalhe para as regiões do sistema eólico do baixo São Francisco, área de interesse para as políticas ambientais e para o turismo local. Nesse sentido os dados podem ser utilizados tanto para planos de manejo, planos de uso sustentável, relatórios técnicos, planos de ação e elaboração de planos diretores, atividades que utilizam de zoneamentos sistemáticos com base no meio físico para delimitação de áreas intervenções efetivas como as protegidas.

Contribuições dos Autores: Thiago Cavalcante Lins Silva – Concepção, metodologia, mapeamento, validação e redação do estudo. Bruno Ferreira - Concepção, metodologia, validação, edição de texto e revisão inicial. Nivaneide Alves de Melo Falcão – Concepção, metodologia, edição de texto e revisão parcial. Marco Túlio Mendonça Diniz – ajustes, adequações finais e revisão final. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

Financiamento: Esta pesquisa não recebeu nenhum financiamento externo.

Agradecimentos: Os autores agradecem ao Laboratório de Geologia – LabGeo/IGDema/Ufal e o Laboratório de Geomorfologia e Solos – GEOMORFOS/UFAL, a Universidade Federal de Alagoas e ao seu Programa de Pós-Graduação em Geografia – PPGG/UFAL e a Universidade Federal do Rio Grande do Norte e ao seu Programa de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia – PPGE/UFRN. Por fim, os autores agradecem a bolsa de doutorado cedida pelo Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior.

Conflito de Interesse: Os autores declaram não haver conflito de interesse da publicação do presente artigo.

Referências

1. ANDREUCCI, S.; CLEMMENSEN, L. B.; PASCUCI, V. Transgressive dune formation along a cliffed coast at 75 ka in Sardinia, Western Mediterranean: a record of sea-level fall and increased windiness. *Terra Nova*, [S.L.], v. 22, n. 6, p. 424-433, 18 out. 2010. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3121.2010.00971.x>.
2. ARIAS, V. E. *Eolianitos Quaternários do Nordeste do Brasil*. 2020. 282 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

3. COSTA, J. A. Mapeamento geomorfológico da APA de Piaçabuçu. In: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade ICMBio. **Plano de Manejo da APA de Piaçabuçu**, Brasília, 2010.
4. CPRM. **Nota Explicativa do Mapa da Geodiversidade do Estado de Alagoas**. Serviço Geológico do Brasil, Recife – PE, 2015.
5. BARBOSA, L. M. **Campos de dunas costeiras ativas associados à desembocadura do Rio São Francisco (SE/AL): origem e controles ambientais**. 207f. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal da Bahia, Salvador, 1997.
6. BARBOSA, L. M.; DOMINGUEZ, J. M. L. **Coastal dune fields at the São Francisco River strand plain, Northeastern Brazil: morphology and environmental controls**. *Earth Surf. Processes and Landforms*, 2004.
7. BISPO, S. C. **Análise da variação morfológica das dunas costeiras ativas da reserva biológica de Santa Izabel (SE) no período de 1955-2005**. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal da Bahia, 2008.
8. BRISTOW, C. S.; MOUNTNEY, N. P. Aeolian Landscapes, Aeolian Stratigraphy. In: SHRODER J. F. (Org.) **Treatise on Geomorphology**. 11ª Edição. San Diego: Academic Press, 2013. p.246-268.
9. CARVALHO, R. G.; SILVA, A. L. B. Desafios da gestão da zona costeira no Brasil. In: CARVALHO, R. G.; PIMENTA, M. R. C. (orgs.). **Gestão da Zona Costeira: estudos de casos no Nordeste do Brasil**. Mossoró: Edições UERN, 2015.
10. DINIZ, M. T. M.; SOUZA, R. M. Interação atmosfera-terra-oceano e suas repercussões na precipitação média registrada no leste da Região Nordeste do Brasil. **Ateliê Geográfico**. v.13, n° 3, 2019.
11. DONG, Z.; LV, P.; LU, J.; QIAN, G.; ZHANG, Z. LUO, W. Geomorphology and origin of Yardangs in the Kumtagh Desert, Northwest China. **Geomorphology**, v. s 139-140, no. 2, 2012. p. 145-154.
12. FERNANDEZ, G. B.; PEREIRA, T. G.; ROCHA, T. B.; MALUF, V.; MOULTON, M.; OLIVEIRA FILHO, S. R. Classificação morfológica das dunas costeiras entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Litoral do Estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 3, 2017.
13. FERNANDEZ, G. B. GEOMORFOLOGIA DE DUNAS COSTEIRAS PRIMÁRIAS E SECUNDÁRIAS DETERMINADAS POR IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO. **Revista de Geografia**, [S.L.], v. 35, n. 4, p. 344, 18 set. 2018. Universidade Federal de Pernambuco. <http://dx.doi.org/10.51359/2238-6211.2018.238235>.
14. FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B.; BARBOZA, E. G.; DILLENBURG, S. R.; ROSA, M. L. C. C.; ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C.; OLIVEIRA, L. H. S.; DOMINGUEZ, J. M. L. Natural Landscapes Along Brazilian Coastline. In: SALGADO, A. A. R.; SANTOS, L. J. C.; PAISANI, J. C. **The Physical Geography Of Brazil**, Springer Link, [S.L.], p. 199-218, 2019. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-030-04333-9_10.
15. GIANNINI, P. C. F. **Sistemas Depositionais Eólicos no Quaternário Costeiro do Brasil**. 224f. Tese (Livre Docência), Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo – USP, 2007.
16. GIANNINI, P. C. F.; SAWAKUSHI, A. O.; MARTINHO, C. T.; GUEDES, C. C. F.; NASCIMENTO, D R.; TANAKA, A. P. B.; MENDES, V. R.; ZULAR, A.; ANDRADE, H. A. FORNARI, M. Morfodinâmica de sistemas eólicos costeiros: um modelo baseado em exemplos do holoceno brasileiro e seu potencial interpretativo. **Comunicações Geológicas**, v.101, 2014. p. 681-685.
17. GUEDES, C. C. F. **Cronologia e sedimentologia dos depósitos eólicos quaternários da costa Leste Maranhense**. 215f. Tese (Doutorado em Geoquímica e Geotectônica), Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2012.
18. GUIMARÃES, J. K. **Evolução do delta do rio São Francisco – estratigrafia do Quaternário e relações morfodinâmicas**, 127f. Tese (Doutorado em Geologia) - Universidade Federal da Bahia. Instituto de Geociências, 2010.
19. HESP, P. A. **Coastal sand dunes: form and function**. Massey: Massey University, 2000.
20. HESP, P. A. Foredunes and blowouts: Initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**, v.48, 245–268. 2002.
21. INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados de vento da estação meteorológica de Brejo Grande 2008-2020**, 2020.
22. KOCUREK, G.; NIELSON, J. Conditions favourable for the formation of warm-climate aeolian sand sheets. **Sedimentology**, [S.L.], v. 33, n. 6, p. 795-816, dez. 1986. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-3091.1986.tb00983.x>.
23. LIMA, R. C. A.; BARBOSA, L. M.; ALBUQUERQUE, A. L. S.; LIMA JÚNIOR, G. R. Dinâmica de sedimentação dos campos de dunas costeiras ativas associadas a desembocadura do Rio São Francisco – Ponta do Míai – Pontal da Barra – Litoral Sul do Estado de Alagoas. In: ARAÚJO, L. M. **Geografia: espaço, tempo e planejamento**. Maceió: Edufal, 2004.
24. LIMA, C. U. C.; BEZERRA, F. H. R.; NOGUEIRA, F. C. C.; MAIA, R. P.; SOUSA, M. O. L. Quaternary fault control on the coastal sedimentation and morphology of São Francisco coastal plain, Brazil. **Tectonophysics**, v. 663, 2014. p. 98-114.
25. LIU, B.; COULTHARD, T. J. Mapping the interactions between rivers and sand dunes: implications for fluvial and aeolian geomorphology. **Geomorphology**, [S.L.], v. 231, p. 246-257, fev. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2014.12.011>.
26. MCCAULEY, J. F.; GROLIER, M. J.; BREED, C. S. **Yardangs of Peru and other Desert Regions**. USGS Interagency Report: Astrogeology, 1977

27. MARTINHO, C. T. **Morfodinâmica e sedimentologia de campos de dunas transgressivas da região de Jaguaruna-Imbituba, Santa Catarina.** 127f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica), Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2004.
28. MARTINHO, C. T. **Morfodinâmica e evolução de campos de dunas transgressivos quaternários do Litoral do Rio Grande do Sul.** 2008. 215 f. Tese (Doutorado em Geociências), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.
29. MEDEIROS, P. R. P.; KNOPPERS, B. A.; SANTOS JÚNIOR, R. C.; SOUZA, W. F. L. Aporte fluvial e dispersão de matéria particulada em suspensão na zona costeira do Rio São Francisco (SE/AL). **Geochimica Brasiliensis**, [S.I.], v. 21, n. 2, p. 212-231, 2007.
30. MOUNTNEY, N. P. Eolian Facies Models. In: POSAMENTIER, H. W.; WALKER, R. G. (Eds.) **Facies Models Revisited**, Society of Economic Paleontologists and Mineralogists Special Publication, 2006a, pp. 19–83.
31. MOUNTNEY, N. P. Periodic accumulation and destruction of aeolian erg sequences in the Permian Cedar Mesa Sandstone, White Canyon, southern Utah, USA. **Sedimentology**, v. 23, 2006b. p. 789–823.
32. PYE, K.; TSOAR, H. **Aeolian Sand and Sand Dunes.** 2a Edição. Berlin: Springer, 2009. 458p.
33. RODRIGUES, F. C. G. **Evolução dos sistemas eólicos costeiros quaternários entre Campo Bom e a foz do Rio Araranguá, SC.** 155f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Geotectônica), Instituto de Geociência, Universidade de São Paulo – USP, São Paulo, 2017.
34. SAWAKUSHI, A. O. **Morfometria e simulação numérica de campos de dunas costeiras: estudo baseado em exemplos Brasileiros.** 319f. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar), Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo-USP, São Paulo, 2006.
35. SILVA, T. C. L. **Condição morfodinâmica e geomorfologia do campo de dunas do baixo São Francisco no Estado de Alagoas.** 2021. 151 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió - Al, 2021.
36. 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.** 1990. 270 f. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.