

MAPEAMENTO ESPAÇO-TEMPORAL DA DUNA PARABÓLICA MEGAFORMA NA PLANÍCIE COSTEIRA DE CABO FRIO (RJ) DE 2005-2020

SPATIAL-TEMPORAL MAPPING OF THE PARABOLIC MEGAFORM DUNE OF THE COASTAL PLAIN OF CABO FRIO (RJ) FROM 2005-2020

MAPEO ESPACIO-TEMPORAL DE LA DUNA MEGAFORMA PARABOLICA DE LA LLANURA COSTERA DE CABO FRIO (RJ) DE 2005 A 2020

RESUMO

A planície costeira de Cabo Frio fica localizada em uma área onde coexistem elementos naturais (lagunas, vegetação de restinga, dunas estacionárias e transgressivas, etc.) com o sítio urbano do município. Ao investigar a dinâmica e comportamento da megaforma parabólica, constatou-se uma assimetria no seu deslocamento sobre a planície, com diferentes taxas de migração: 12,2m/ano em seu eixo central, e 7,3m/ano na sua face de avalanche. Em termos de área de abrangência a mesma apresentou uma perda de 9,4 ha de sua área, resultando assim em uma diminuição de 13,6%. Além da presença humana os ambientes costeiros também podem ser sensíveis a mudanças ambientais, como as mudanças climáticas e mudanças nos climas de ondas, podendo assim levar esses ambientes a um processo de transformação da paisagem, que possivelmente ocorre nesta área.

Palavras-chave: Dunas Parabólicas; Processos Eólicos; Geomorfologia Costeira; Ambiente Costeiro; SIG.

ABSTRACT



The coastal plain of Cabo Frio is located in an area where natural elements coexist (lagoons, restinga vegetation, stationary and transgressive dunes, etc.) with the urban site of the municipality. By investigating the dynamics and behavior of the megaform parabolic, an asymmetry was observed in its displacement over the plain, with different migration rates: 12.2m/year along its central axis, and 7.3m/year on the avalanche face. In terms of area coverage, it experienced a loss of 9.4 ha, resulting in a decrease of 13.6%. In addition to human presence, coastal environments can also be sensitive to environmental changes such as climate change and wave climates, which may lead to a landscape transformation process in this area.

Keywords: Parabolic Dunes; Aeolian Processes; Coastal Geomorphology; Coastal Environment; GIS

RESUMEN

La llanura costera de Cabo Frio se encuentra ubicada en una zona donde coexisten elementos naturales (lagunas, vegetación de restinga, dunas estacionarias y transgresivas, etc.) con el sitio urbano del municipio. Al investigar la dinámica y comportamiento de la parabólica megaforma, se observó una asimetría en su desplazamiento sobre la llanura, con diferentes tasas de migración: 12,2 m/año en su eje central y 7,3 m/año en la cara de avalanche. En términos de cobertura de área, experimentó una pérdida de 9,4 ha, lo que resulta en una disminución del 13,6%. Además de la presencia humana, los ambientes costeros también pueden ser sensibles a cambios ambientales como el cambio climático y los climas de olas, lo que puede llevar a un proceso de transformación del paisaje en esta área.

Palabras-clave: Dunas Parabólicas; Procesos Eólicos; Geomorfología Costera; Medio Ambiente Costero; SIG

 **Matheus Pereira^a**
 **Thiago Pereira^a**

^a Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ, Brasil

DOI: 10.12957/geouerj.2023.75073

Correspondência: matheusmrp16@gmail.com; thiagopereira.uerj@gmail.com

Recebido em: 17 abr. 2023

Revisado em: 31 maio 2023

Aceito em: 06 jun. 2023



INTRODUÇÃO

O litoral brasileiro tem uma extensão de aproximadamente 8000 km e é constituído por diversos sistemas costeiros, onde os processos que induzem sua dinâmica morfológica são variados, como os eólicos e hidrodinâmicos. Essa relação dinâmica produz paisagens de beleza cênica peculiares e valor inestimável em termos de recursos naturais. No entanto, são áreas frequentemente ameaçadas em sua estabilidade/equilíbrio morfológico e sedimentar, devido a causas naturais e humanas, incluindo as mudanças climáticas e mudanças ambientais (TESSLER e GOYA, 2011).

Nos últimos 50 anos, a ocupação do litoral brasileiro tem sido intensa, tornando os fatores antropogênicos influentes nas dinâmicas costeiras. De acordo com o Muehe (1998) e IBGE (2010), 23,5% da população reside em uma faixa de 20km de distância do mar. Esse processo histórico de ocupação se deu muitas vezes de maneira acelerada e desordenada, uma vez que a preocupação com o planejamento de ocupação e uso do espaço costeiro é algo relativamente recente nesse contexto. Portanto, é cada vez mais importante caracterizar e monitorar essas áreas devido às possíveis ameaças à geodiversidade costeira presentes nesses ambientes, como as falésias, praias, sistemas lagunares e dunas (BRILHA, 2005; BRANDÃO, 2008).

A planície costeira no município de Cabo Frio, localizada na região das Baixadas Litorâneas do estado do Rio de Janeiro, possui uma grande quantidade de feições e ambientes costeiros, o que a torna de grande interesse para estudos relacionados de feições eólicas e as tipologias de dunas costeiras, pois são únicas em todo o estado. Nesta planície, desenvolve-se um campo de dunas transgressivo que se movimenta em direção ao interior do continente (PEREIRA et al., 2010; e FERNANDEZ et al., 2017). Essa diversidade de dunas é resultado de uma série de fatores ambientais exclusivos presentes nessa área, começando pela peculiaridade climática de elevada aridez em relação ao resto da região sudeste, sendo reconhecido assim como um enclave fito-climático semiárido quente (BARBIERE, 1984; BARBIERE & COE-NETO 1999). Essas peculiaridades são causadas principalmente por fatores geomorfológicos, como a grande distância de montanhas do litoral, e fatores oceanográficos, como o fenômeno da ressurgência das águas do mar devido à inflexão da linha de costa e a incidência de correntes oceânicas profundas junto à costa. A plataforma continental também é importante elemento, considerada a principal fonte de sedimentos finos para a zona costeira (MUEHE, 1998; MUEHE e VALENTINI, 1998).

Dentre as diversas feições sedimentares esculpidas pelos ventos, destaca-se na paisagem a duna megaforma parabólica conhecida como duna “Dama Branca”. As dunas parabólicas têm um formato de V ou de U, com suas pernas alongadas na direção dos ventos de mar para terra, e são consideradas megaforma quando possuem extensões que superam os 300m de comprimento e 20 metros de altura (LANCASTER,

1988). O processo de formação dessas dunas inicia-se com o avanço do lóbulo deposicional (face de avalanche) sobre a vegetação, promovendo a estabilização dos sedimentos e formando dois braços marginais. A parte interna da duna é moldada pelo direcionamento do vento, criando uma crista que soterra a vegetação. Como consequência, a parte interna da duna é erodida, enquanto que a parte externa permanece estável durante a migração, formando duas cristas assimétricas (BIGARELLA, 2000; BIRD, 2000; HESP, 2013).

Outros autores, como Pye & Tsoar (1990), também descrevem a formação dessas parabólicas como um processo de migração de cristas em direção à borda externa da duna, que é estabilizada pela vegetação. A interação entre o vento e vegetação é fundamental para a formação e manutenção dessas dunas, e a variação nesses fatores pode influenciar na sua morfologia e distribuição espacial.

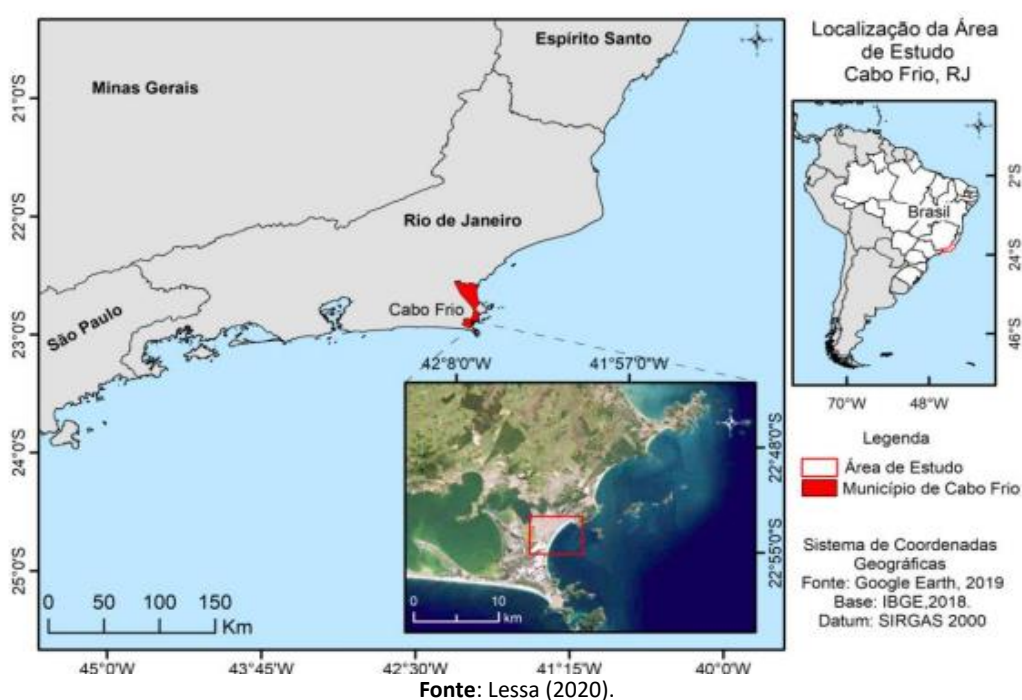
O monitoramento do comportamento de dunas costeiras pode ser realizado utilizando diferentes técnicas, que podem ser utilizadas individualmente ou combinadas. O Sensoriamento Remoto com uso de imagens de satélite é uma técnica amplamente utilizada na literatura, em estudos como os de Carvalho (2006), Pedrosa (2016) Luijendijk et al. (2018), entre outros. Com o avanço das geotecnologias e popularização dos produtos captados por esses sensores orbitais, esta técnica tornou um recurso ágil e prático para o monitoramento do comportamento de dunas, permitindo a sistematização de séries temporais de imagens para identificar o deslocamento das dunas na planície costeira e a detecção de possíveis casos de erosão eólica. A análise multitemporal de imagens para estudos de dinâmica de sistemas dunares é, então, adequada e amplamente utilizada em estudos sobre a dinâmica costeira para compreender o comportamento das dunas ao longo de um determinado tempo. (CARVALHO, 2006; LESSA, 2020).

Com base nisso, o objetivo geral deste trabalho foi identificar a taxa de migração da duna megaforma parabólica, localizada na planície costeira do cabo Frio e avaliar possíveis alterações em sua morfologia. Buscou-se também investigar se essa feição estaria em processo de expansão ou perda de área devido às transformações paisagísticas identificadas recentemente na área de estudos e adjacências. Para atingir esse objetivo foi necessário combinar conhecimentos em Geomorfologia Costeira com técnicas de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) para mapear temporal e espacialmente as dinâmicas da duna em questão.

Material e Métodos

A área de estudo está localizada na porção meridional do compartimento cabo Búzios-cabo Frio (MUEHE, 1998; MUEHE e VALENTINI, 1998) A megaforma parabólica já foi objeto de mapeamento em outros estudos realizados anteriormente, destacando-se os mapeamentos realizados por Pereira et al. (2010) e Fernandez et al. (2017), utilizando o Ortomosaico de 2005 disponibilizado pelo IBGE. Em ambos os trabalhos foram evidenciadas características morfológicas dessa megaforma parabólica, bem como de outras tipologias de dunas presentes na área de estudo (Figura 1).

Figura 1: Mapa da Área de estudo – Cabo frio (RJ)



O presente estudo utilizou imagens de sistemas orbitais e aerolevantamento para mapear a megaforma parabólica. As imagens foram disponibilizadas do programa *Google Earth Pro* e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), respectivamente. A imagem do IBGE, datada em 2005, possui uma escala métrica de 1:25000 e está disponível na plataforma virtual do instituto. As imagens de sistemas orbitais são datadas de 2009, 2013 e 2020, e foram capturadas pelos satélites GeoEye-1 e WorldView-2 por meio do *Google Earth Pro*. O GeoEye-1 oferece uma resolução espacial de 0,41m na banda pancromática (preto e branco) e 1,65m nas bandas multiespectrais (vermelho, verde e azul), enquanto o WorldView-2 possui uma resolução espectral de 0,46m na banda pancromática e 1,85m nas bandas multiespectrais.

Para garantir a qualidade das análises derivadas dessas imagens, foram levados em consideração critérios de visibilidade dos objetos de mapeamento, como sombreamento ou



intervenções atmosféricas, principalmente nuvens, ou qualquer tipo de distorção da imagem que pudesse prejudicar a identificação e vetorização dos limiares das áreas de duna.

Para realizar as análises espaciais, as imagens obtidas foram georreferenciadas no programa *ArcMap 10.8*. O ortomosaico do IBGE de 2005 foi utilizado como base para este processo, e a ferramenta de georreferenciamento foi utilizada pra escolher pontos no ortomosaico e replicá-los nas imagens obtidas da plataforma do *Google Earth*. Esse processo foi realizado nas três imagens utilizadas, transformando-as em imagens no formato *TIF*.

Em seguida, foram criados arquivos vetoriais no *ArcCatalog* para mapear o uso e cobertura do solo e o contorno da duna megaforma parabólica. A ferramenta de edição do programa e as classes de mapeamento foram baseadas em critérios de estudos anteriores de Pereira et al. (2010) e Fernandez et al. (2017), que classificam as tipologias de dunas na planície de Cabo Frio e do Peró. Foram identificadas nove classes representativas para identificação do uso e cobertura do solo: Duna Megaforma Parabólica, Dunas Parabólicas, Acumulações Eólicas Cobertas por Vegetação Herbácea, Dunas Frontais, Praia, Espelho D'água, Salinas Desativadas, Área Urbana e as Dunas Bacanoides utilizando como base a imagem do ano de 2020, a mais recente das imagens vetorizadas.

Foram criados dois mapas comparativos da morfologia da duna megaforma ao longo dos anos e sua migração na planície costeira utilizando o modo layout do programa *QGIS 3.22.14*. No primeiro mapa, a coloração foi removida, exibindo apenas a linha do contorno dos polígonos para representar a migração da duna ao longo dos quatro períodos estudados. No segundo mapa, foi utilizada a ferramenta de sobreposição de vetor do *QGIS 3.22.14* para sintetizar as modificações presentes na área da duna, realizando a diferenciação das áreas nos intervalos de tempo estudados, possibilitando a percepção das modificações na feição estudada.

Para análises quantitativas foram utilizadas as ferramentas *geometry calculator* para calcular as áreas dos polígonos da feição mapeada ao longo dos anos. Além disso, a taxa de migração foi medida utilizando a régua do programa *Arcmap10.8*. Os dados obtidos foram elencados em uma tabela do programa *Excel* e lá foram analisados para compreender as mudanças na morfologia ao longo do tempo e sua migração na planície costeira.

Resultados e Discussão

A dinâmica das dunas parabólicas megaforma é complexa e intrigante, sendo influenciada por diversos fatores ambientais em diferentes escalas espaciais e temporais, devido à sua dimensão e à interdependência de aspectos ambientais que afetam sua funcionalidade. Estudos realizados em diversas regiões do planeta mostram que essa dinâmica é afetada por fatores como a disponibilidade de sedimentos, intensidade dos ventos, tipo de vegetação e fatores climáticos como temperatura, regime de ventos e precipitação.

Os estudos de Hesp (2013) e Hesp & Walker (2013) demonstram essa relação entre o desenvolvimento e a dinâmica das dunas sob múltiplas condicionantes que podem influenciar a forma, o tamanho e a taxa de migração dessas dunas, enquanto que Yan & Baas (2015) relacionam as transformações de dunas parabólicas associadas às mudanças climáticas.

A megaforma parabólica (Figura 2) presente na planície costeira de Cabo Frio tem uma posição de destaque no campo de dunas da região, ocupando uma área de 77,7 ha, o que representa 6,79% da área total da planície. Em relação às dunas móveis, a megaforma parabólica corresponde a 44,42% da área (PEREIRA, et al., 2010). A altura é superior a 20 metros e seu comprimento é de cerca de 1000 metros, o que é consideravelmente maior que o valor proposto por Lancaster (1988), que caracterizou esse tipo de feição com comprimentos geralmente superiores a 300 metros.

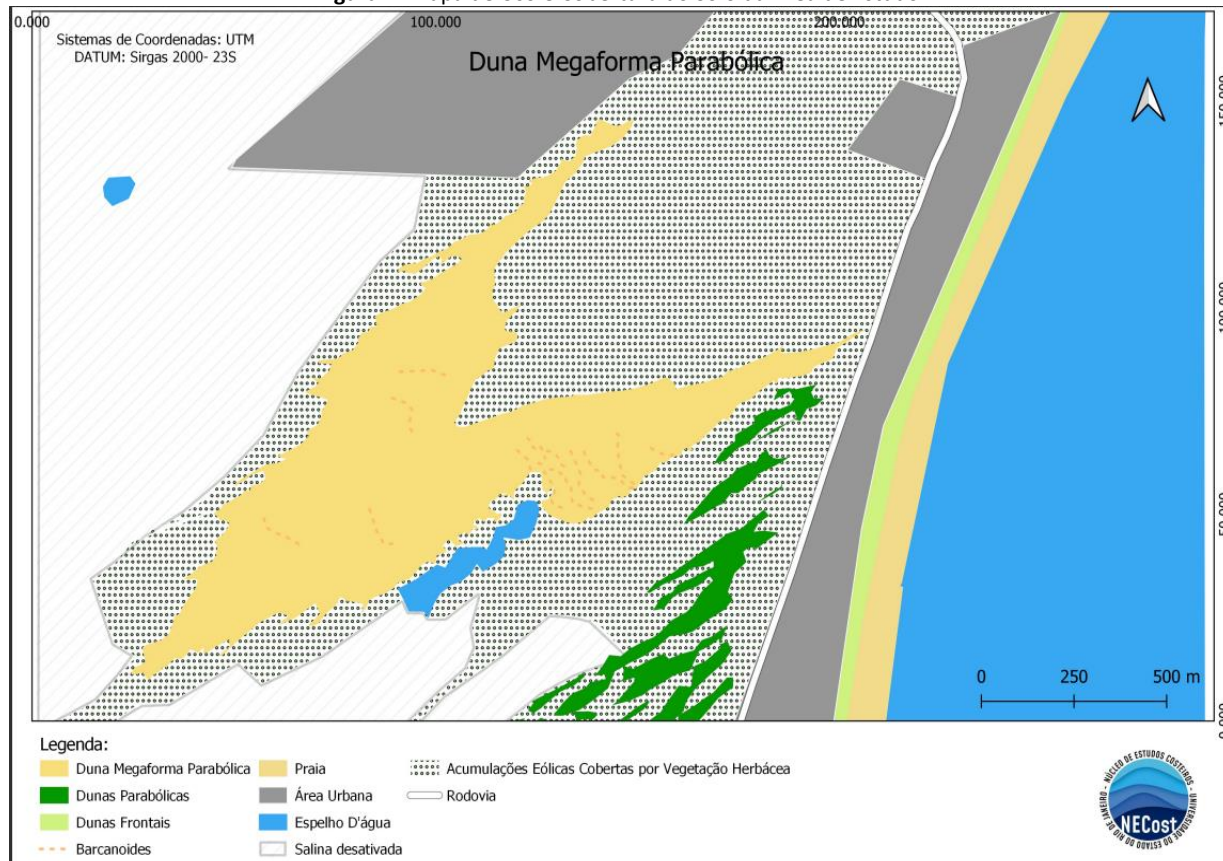
De acordo com o mapeamento realizado (Figura 3) foi observado que essa feição se comporta como uma duna móvel transgressiva, migrando em direção ao interior do continente, onde foi possível destacar duas áreas de migração importantes, ambas no sentido de nordeste para sudoeste.

A primeira área identificada foi no “eixo central” da parabólica megaforma (vértice da face concava). O transporte sedimentar nesta área, também conhecida como face de barlavento da duna, ocorre em uma superfície suave e alongada na direção do vento, com inclinação menos acentuada, resultando na erosão e transporte dos sedimentos em direção à crista da duna, em concordância com os ventos predominantes.

A segunda área de maior dinâmica está localizada mais a sul, na “face de avalanche” da duna Dama Branca, sendo também este ponto o mais elevado de toda a feição. A face de avalanche, também denominada face de sotavento, é a parte da duna que possui uma inclinação mais acentuada, voltada para a direção oposta dos ventos predominantes, onde o transporte de sedimentos ocorre principalmente devido à ação da gravidade e à menor velocidade dos ventos (área de acumulação). Neste setor mais ao sul da duna também foram observados padrões de superfície caracterizados por cristas sinuosas e alongadas transversais ao vento, classificadas como dunas barcanóides por Fernandez et al. (2017). Essas barcanóides

migram sobre a face de barlavento da perna sul da parabólica megaforma e são consideradas um indicador de elevada dinâmica eólica nesse setor (figuras 2 e 3).

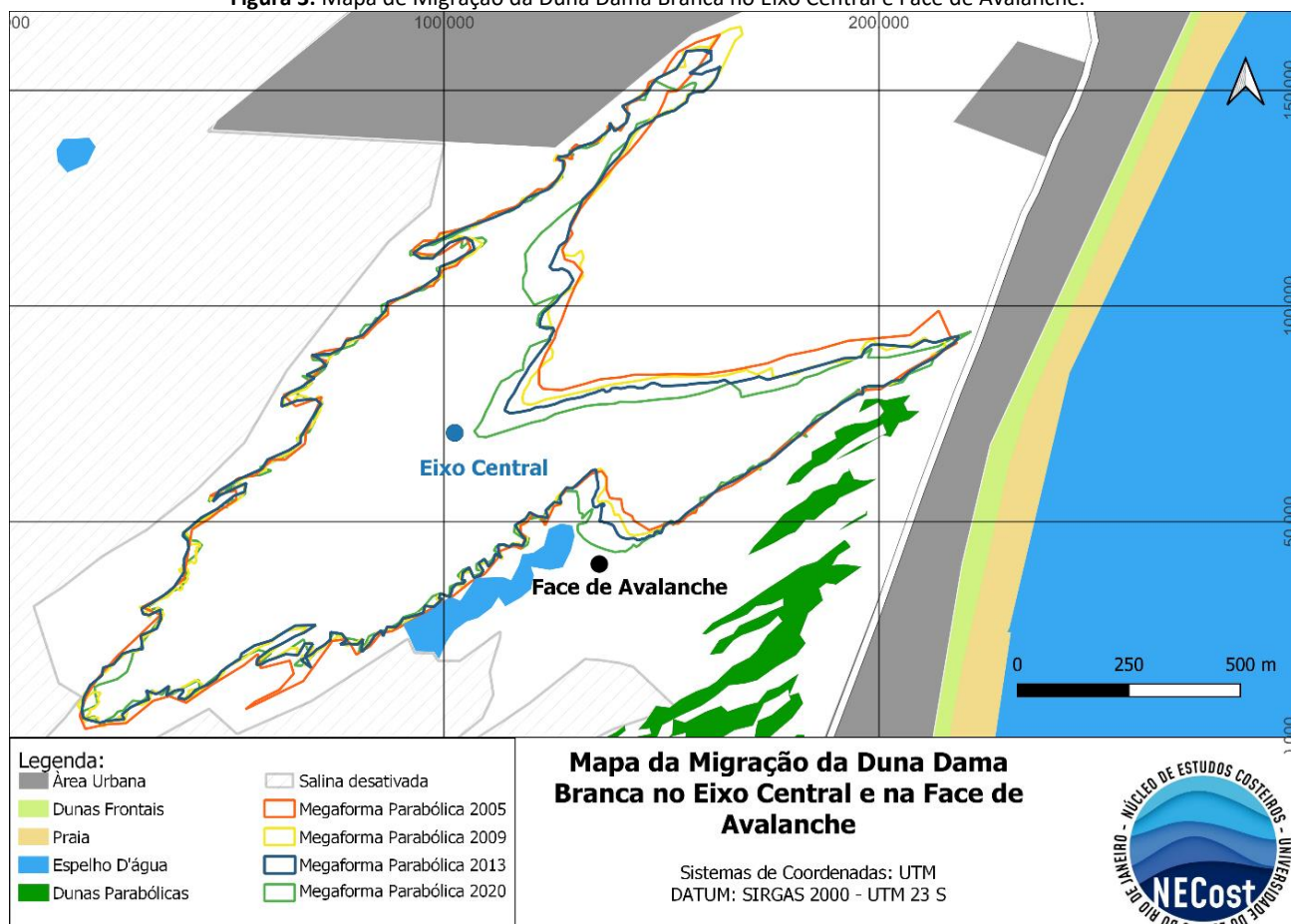
Figura 2: Mapa de Uso e Cobertura do Solo da Área de Estudo.



Fonte: Os autores.

Ainda na figura 3, ao comparar os polígonos sobrepostos entre si, é possível identificar a migração da megaforma com base nos limites identificados em cada ano correspondente, o que permite observar que ao longo dos anos a área da duna está se modificando. A partir dos mesmos polígonos, foi realizado o cálculo da área de cada ano, possibilitando uma análise se a duna está em estado de expansão ou de perda de área, como apresentado na tabela III.

Figura 3: Mapa de Migração da Duna Dama Branca no Eixo Central e Face de Avalanche.



Fonte: Os autores.

Ao superpor os contornos da duna nos anos analisados, foi possível identificar a migração na parte côncava do eixo central. Os rastros eólicos nesta área evidenciam a dinâmica de erosão e deslocamento da duna, que antes estava ocupada por sedimentos livres e que agora estão parcialmente fixadas por vegetação herbácea. Após marcar a posição inicial do vértice na imagem de 2005, a taxa de migração da duna neste setor, na face de barlavento, foi calculada.

No período de tempo de 2005 a 2009 o eixo central da duna migrou 53,6 metros. No segundo intervalo de 2009 a 2013, foi possível notar uma migração de 47,3 metros. No último e mais longo intervalo analisado, de 2013 a 2020 o eixo central migrou 82,7. Em todo o período de análise foi possível notar uma migração de 183,6 metros, representando uma média de 12,2 metros por ano. Os dados obtidos estão apresentados na Tabela I.



Tabela I: Migração da megaforma parabólica no eixo central de 2005 a 2020.

Megaforma	Ano	Migração(m)
Eixo central	2005	0
Eixo central	2009	53,6
Eixo central	2013	47,3
Eixo central	2020	82,7
Eixo central	Total:	183,6

Fonte: Os autores.

Na Tabela II, estão listados os valores das migrações da face de avalanche, localizada na perna sul da megaforma, onde foi observado o desenvolvimento de barcanóides. Os mesmos intervalos de tempo foram utilizados para essa área. No primeiro intervalo, de 2005 a 2009, foi identificada uma migração de 19,7 metros. No segundo intervalo, de 2009 a 2013, esse valor foi de 37,9 metros. No período de 2013 a 2020 a face de avalanche migrou 52,9 metros. Ao longo do intervalo de 15 anos a duna migrou 110,5 metros com média anual de 7,3 metros.

Após calcular a taxa de migração, foram obtidas as áreas de abrangência das dunas para verificar se estão aumentando ou diminuindo. Os resultados são mostrados Tabela III.

Tabela II: Migração da megaforma parabólica na Face de Avalanche 2005 a 2020.

Megaforma	Ano	Migração(m)
Face de avalanche	2005	0
Face de avalanche	2009	19,7
Face de avalanche	2013	37,9
Face de avalanche	2020	52,9
Face de avalanche	Total:	110,5

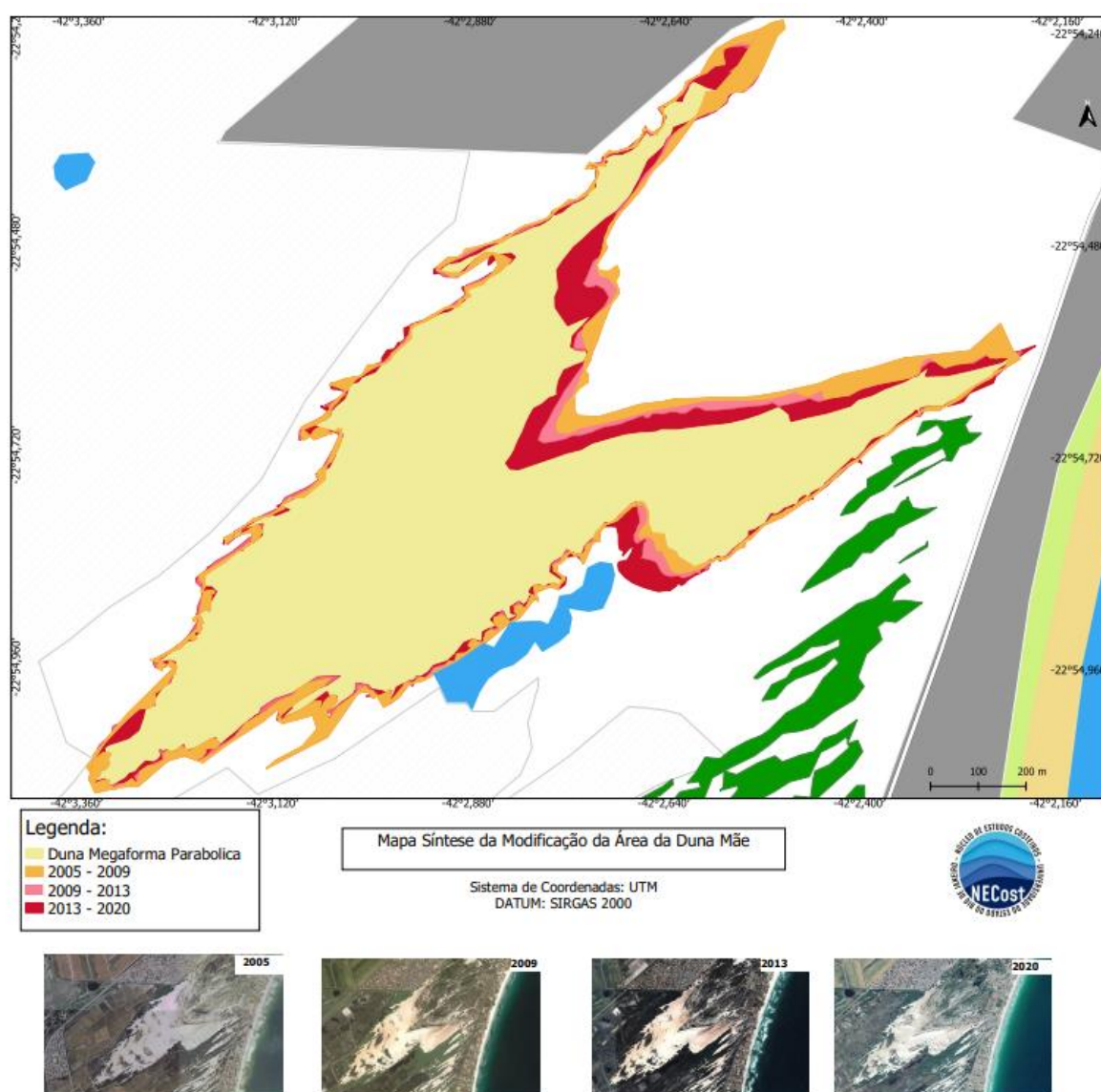
Fonte: Os autores.

A duna megaforma, no ano de 2005, apresentava uma área de 77,7 hectares. No intervalo de 2005 a 2009, esse valor reduziu para 75,3 hectares, sofrendo uma perda tímida de área de 3,10% em relação ao mapeamento realizado para o ano de 2005. A taxa anual de recuo de sua área foi de 0,77 hectares por ano. No intervalo entre os anos de 2009 e 2013, foi possível notar que o padrão de diminuição se manteve presente. Nesse período de quatro anos houve uma discreta perda de área de 1,20%, passando a medir 74,4 hectares. Em comparação ao período de 2005 a 2009, é possível notar que houve uma desaceleração no processo de modificação da feição, apresentando uma média de perda de 0,30% por ano no período, sendo assim a menor média na porcentagem estudada entre as imagens analisadas.

No intervalo de 2013 a 2020 (Figura 4), é possível notar uma acentuação no processo de perda de área novamente. A duna Dama Branca nesse período apresentou uma área de 68,3 hectares, uma perda de área de 9,30%. Dentro de todos intervalos de tempo de estudados, esse foi o que apresentou a maior amplitude, com uma diferença de 7 anos em relação à imagem analisada anteriormente. Mesmo diante desse maior intervalo de tempo, a média anual na taxa de diminuição de área da duna se intensificou nesse período, com perdas de 1,30% de sua área por ano.

Na série temporal total, a megaforma apresentou uma perda de 9,4 hectares de sua área, resultando em uma diminuição de 13,6%. Essa subtração é considerada significativa se levarmos em conta o recorte temporal de análise de apenas 15 anos.

Figura 4: Mapa Síntese da Modificação da Área da Duna Mãe.



Fonte: Os autores.

Tabela III: Área e porcentagem de perda de área da megaforma 2005 a 2020.

Megaforma Parabólica	Área (ha)	Perda de área (%)
2005	77,7	0%
2009	75,3	- 3,10%
2013	74,4	- 1,20%
2020	68,3	- 9,30%
Total:	9,4	- 13,60%

Fonte: Os autores.

Uma possível explicação para a perda de área da megaforma parabólica é o desaparecimento das dunas barcanas na planície de Cabo Frio a partir de 2013, conforme detectado por Lessa, (2020). Essas dunas eram a principal fonte de sedimentos para a megaforma, através de sua migração e posterior incorporação à megaforma (PEREIRA et al., 2010). Acredita-se que o padrão de processo erosivo (ou diminuição de área de abrangência) na megaforma parabólica esteja diretamente relacionado com o desaparecimento das dunas barcanas, que atualmente se comportam como rastros eólicos na referida planície.

O estudo realizado por Lessa (2020) investigou as transformações nas dunas barcanas e calculou suas áreas. Em 2005, as dunas barcanas tinham uma área de 4,4 ha, e em 2009, já apresentavam uma área de 1,6 ha, indicando uma queda brusca. Com base nos dados obtidos, foi constatado que nesse mesmo período, a megaforma parabólica sofreu uma perda de 3,6% de sua área.

No segundo intervalo de tempo estudado, de 2009 a 2013, os depósitos mapeados por Lessa (2020) da planície de deflação já não foram considerados como dunas barcanas devido à sua descaracterização, passando a ser considerados como rastros eólicos. Neste período, houve um aumento na área de sedimentos livres, que chegou a medir 3,4 ha, o que pode estar relacionado com o fato de a megaforma ter apresentado a menor taxa de erosão nesses 4 anos com uma taxa de diminuição de apenas 1,2%. É importante ressaltar que, mesmo com o aumento na área de depósito sedimentar, essa área ainda permaneceu inferior ao valor inicial do ano de 2005. Além disso, a proximidade da perna norte da megaforma parabólica com a área urbana também pode ter levado à descaracterização de sua vegetação fixadora, onde pode ser observado nos mapas. Indicando que essa parte da duna passou por mudanças morfológicas mais significativas ao longo do período analisado, fatores que esses que justificam o permanente estado de decréscimo na área do setor centro norte da megaforma.

No último intervalo de tempo estudado entre 2013 a 2020 a área de sedimentos livres, conforme identificado por Lessa (2020), apresentou uma nova queda, passando a medir 2,2 ha. Neste período, a área onde anteriormente se estabeleciam as dunas barcanas estava quase que em completamente coberto por

vegetação. Essas transformações podem ter interferido diretamente no transporte sedimentar para a Duna Mãe, uma vez que afixação dos sedimentos provocado pelo avanço de gramíneas pode ter reduzido o transporte para a duna em estudo. Esses fatores podem ter sido uma das razões pelas quais o último período estudado foi aquele em que a megaforma parabólica apresentou a maior perda de área, estimada em 9,30%.

Conforme mencionado anteriormente, a megaforma teve uma taxa de erosão de 13,6 % de sua área ao longo do intervalo de tempo de 2005 a 2020. Esse fenômeno pode ser atribuído, em grande parte, ao balanço sedimentar negativo causado pela descaracterização e erosão do antigo campo de dunas barcanas, que era a principal fonte de sedimentos para a megaforma. Mudanças ambientais têm interferido no sistema dunar, resultando em processos de descaracterização. Além disso, a interferência antrópica também tem impactado a megaforma, devido a sua proximidade com áreas urbanas, como a descaracterização da sua vegetação fixadora de sua perna ao norte.

CONCLUSÕES

Após a análise dos mapeamentos e dos dados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que a megaforma está migrando em direção sudoeste para o interior do continente, confirmando seu caráter transgressivo que se desloca na direção dos ventos predominantemente de nordeste com direcionamento oblíquo do mar para o continente. Além disso, observou-se que essa feição perdeu 13,6 % da sua área no período de 15 anos, um valor significativo que alerta para a questão da erosão costeira na planície de Cabo Frio e a necessidade de manutenção da sua geodiversidade. É importante ressaltar que a planície costeira de Cabo Frio já sofreu com a erosão completa do campo de dunas barcanas, atualmente caracterizadas como rastros eólicos residuais.

A erosão e a descaracterização do campo de dunas barcanas é apontada como o principal fator do processo de perda de área da megaforma, uma vez que essas dunas eram a principal fonte sedimentar que conectava a megaforma ao sistema praial. A presença mais recente de maior cobertura vegetal na área onde as dunas barcanas ocorriam pode ter inibido o transporte de sedimentos para a megaforma, o que pode ser considerado como uma causa natural para o processo de diminuição da duna Dama Branca. Além desses fatores, estão sendo realizados estudos mais aprofundados sobre possíveis mudanças climáticas em escala regional, como um aumento da pluviosidade ou na temperatura, podem interferir no balanço sedimentar da feição e na cobertura do sol, em termos de densidade vegetacional. O aumento da pluviosidade pode resultar um aumento de áreas alagadas e maior vegetação, o que pode fixar os sedimentos e obstruir o



transporte dos mesmo para a duna Dama Branca. Portanto, é necessário considerar esses fatores na compreensão do processo de erosão da megaforma.

Também foi possível observar a presença de fatores antrópicos que podem ter interferido no balanço sedimentar da megaforma, como o avanço da ocupação na parte norte da feição, que pode ter levado à descaracterização da vegetação. O aumento da infraestrutura urbana à montante do antigo campo de dunas barcanas, considerada a raiz do campo de dunas da planície, pode ser também considerado como fator relevante no desaparecimento das mesmas, e, conseqüentemente, para a diminuição da área da megaforma. A criação de quiosques padronizados, decks, passarela de pedestres e pista de rolamento para automóveis, tudo isso em área de pós-praia, onde naturalmente deveriam ocorrer dunas frontais, é um elemento importante a ser considerado e representa uma oportunidade de investigação para trabalhos futuros nessa problemática da área de estudo.

Em conclusão, com base na análise nos dados obtidos neste estudo, é evidente a importância de implementar medidas de proteção permanente e evitar o avanço da ocupação sobre as áreas de borda da duna parabólica megaforma, uma das poucas em todo o estado do Rio de Janeiro. A perda significativa de sua área ao longo de 15 anos de observação, causada por fatores naturais ou não, mostra a necessidade adotar estratégias de conservação e proteção, como a recuperação de áreas degradadas e controle de atividades humanas inadequadas, a fim de garantir a preservação dessas importantes formações dunares e seu papel no equilíbrio dos ecossistemas locais e regionais, além de garantir a geodiversidade costeira ainda presente e o patrimônio natural que representa a duna Dama Branca da planície costeira de Cabo Frio.

Agradecimentos

Os autores desejam expressar sinceros agradecimentos à FAPERJ pelo suporte financeiro fornecido por meio da bolsa de Iniciação Científica, que desempenhou um papel fundamental no desenvolvimento desta pesquisa. Além disso, agradecer aos membros do Núcleo de Estudos Costeiros (NECost-UERJ) pela contribuição ao progresso deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Baas, A. C., Jackson, D. W., Cooper, J. A., Lynch, K., Delgado-Fernandez, I., & Lynch, K. (2002). The effect of wind speed and bed slope on sand transport in the impact regime. *Sedimentology*, 49(5), 1041-1054.
- Barbière, E. B. (1984). Cabo frio e Iguaba Grande: dois microclimas distintos a um curto intervalo espacial. In: Lacerda, L. D.; Araújo, D. S. D.; Cerqueira, R.; Turq, B. (Eds). *Restingas: Origem, Estruturas, Processos*. CEUFF, Niterói.



- Barbière, E.B; Coe-Neto. (1999). R. Spatial and temporal variation of rainfall of the East Fluminense Coast and Atlantic Serra do Mar, State of Rio de Janeiro, Brazil. In: KNOPPERS B., BIDONE E. D.; ABRÃO J. J. (Eds.), **Environmental Geochemistry of Coastal Lagoon Systems, Rio de Janeiro**, Brazil, Vol. 6, p. 47-56. Niterói: UFF/FINEP.
- Bigarella, J. J. (2000). Parabolic dune behavior under effective storm wind conditions. **Revista Brasileira de Geomorfologia**. pp.1-26.
- Bird, E. C. F. (2000). **Coastal geomorphology: an introduction**. Chichester ; New York : John Wiley
- Brandão, R.L. (2008). Regiões Costeiras in **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro**. CPRM. 264p.
- Brilha, J. (2005). **Patrimônio geológico e geoconservação – a conservação da natureza na sua vertente geológica**. Viseu: Palimage Editores.
- Carvalho, A. M. (2006). **Dinâmica Costeira entre Cumbuco e Matões – Costa NW do Estado do Ceará. Ênfase nos Processos Eólicos**. Tese de Doutorado. Universidade Federal da Bahia, 172p.
- Coe, Heloisa H. G. et al. (2010). Peculiaridades ecológicas da região de cabo Frio. **Revista Tamoios**, [S.l.], v. 3, n. 2.
- Dávila, N., & Vinzon, S. B. (2019). A review of remote sensing applications for coastal dune ecosystem monitoring. **Remote Sensing**, 11(7), 806.
- Fernandez, G.B et al. 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, nº3, 2017.
- Heil, P., Adamowski, J., e Nield, J. (2019). Using satellite remote sensing to monitor coastal dune activity and vegetation dynamics in the Canadian Arctic. **Journal of Coastal Conservation**, 23(1), 149-158.
- Hesp, P. (2013). Conceptual models of the evolution of transgressive dune field systems. **Geomorphology**. 199. 138-149. 10.1016/j.geomorph.2013.05.014.
- Hesp, P. A. e WALKER, I. J. Coastal Dunes. In: JOHN F. S. (2013). **Treatise on Geomorphology**. San Diego: Academic Press, pp. 328-355.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012
- Jimenez, J A. et al. (1999) Aeolian dune migration along the Ceará coast, north-eastern Brazil. **Sedimentology**, v. 46, n. 4, p. 689-701.
- Klemas, V., & Yan, X. (2020). Use of remote sensing for monitoring and managing coastal zone environments. **Journal of Coastal Research**, 36(6), 1162-1175.
- LANCASTER, N. **The development of large aeolian bed forms: Sedimentary Geology**, 55:69-89, 1988b.
- Lessa, A.C.P. (2020). **Entre períodos e rastros: Caracterização da morfologia e dinâmica de dunas barcanas da planície de Cabo Frio**. Monografia (graduação) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Geografia. Rio de Janeiro.
- Lancaster, N. (1988). Controls of aeolian dune size and spacing. **Geology**, 16:972-975.
- Luijendijk, A.; Hagenaars, G.; Ranasinghe, R.; Baart, F.; Donchyts, G.; Aarninkhof, (2018). S.The State of the World's Beaches. **Nature, Scientific Reports**, 20088:6641 | DOI:10.1038/s41598-018-24630-6.
- Li, J., Li, X., & Chen, Y. (2019). Remote sensing of coastal dune morphology changes along the Bohai coast of China from 1976 to 2016. **Journal of Coastal Research**, 35(3), 631-640.
- Muehe, D. (1998) O litoral brasileiro e sua compartimentação. In:Cunha, S.B. e Guerra, A. J. T. (Eds.). **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 273-349.
- Muehe, D & Valentini, E. (1998). O LITORAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO UMA CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-AMBIENTAL. **Femar**, 1998. SN - 85-85966-09-2.
- Muehe, D. (2008). Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil (general aspects of coastal erosion in Brazil). **Mercator**, Fortaleza, v. 4, n. 7.
- Pedrosa, A. A. (2016). **A geodinâmica e morfogênese das dunas eólicas no município de Canoa Quebrada, Aracati, Ceará, Brasil**. Tese de Doutorado - Universidade Federal do Ceará, UFC.



- Pereira, T.G.; Rocha, T.B.; Santos, R. A.; Fernandez, G.B. (2007). Morfodinâmica entre a praia, duna e zona submarina adjacente nas proximidades do Cabo Frio, RJ. In: **XICONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESTUDOS DO QUATERNÁRIO 2007, Anais**, Belém. ABEQUA 2007.
- Pereira, T. G. de Oliveira Filho S. R., Corrêa, W. B., & Fernandez, G.B.et al. (2010). Diversidade Dunar entre Cabo Frio e o Cabo Búzios–RJ. **Revista de Geografia** (Recife), v. 27, n. 3. Esp, p. 277-290.
- Pye, K., & Tsoar, H. (1990). **Aeolian sand and sand dunes**. Unwin Hyman Ltd
- Silva, J.C.; Rocha, T.B. (2018). Geodiversidade geomorfológica e identificação de possíveis geomorfossítios no núcleo ATALAIA-DAMA BRANCA do Parque estadual da costa do sol (PECSOL) – RJ. In **XII CONGRESSO DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS ESTUDOS DO QUATERNÁRIO, 2018, Anais. ABEQUA 2018**.
- Silva, R. M., Rodrigues, L. M., Dias, J. M., Marques da Silva, M., & Santos, R. (2019). Remote sensing for monitoring coastal dune dynamics on a seasonal scale. **Science of the Total Environment**, 651, 2545-2557.
- Silvestro, S., Sun, X., Baas, A. C., & Ribberink, J. S. (2021). Dune dynamics and growth of parabolic megaforms. **Journal of Geophysical Research: Earth Surface**, 126 .
- Tessler, M. G.; Goya, S. C. (2011). Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, [S. l.], v. 17, p. 11-23. DOI: 10.7154/RDG.2005.0017.0001.
- Yan, N., Baas, A.C.W., 2015. Parabolic dunes and their transformations under environmental and climatic changes: towards a conceptual framework for understanding and prediction. **Glob. Planet. Chang.** 124, 123-148.