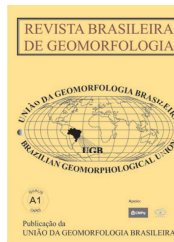


www.ugb.org.br
ISSN 2236-5664

Revista Brasileira de Geomorfologia

v. 19, nº 2 (2018)

<http://dx.doi.org/10.20502/rbg.v19i2.1233>



INTERAÇÃO MORFODINÂMICA ENTRE PRAIA E DUNA FRONTAL NO DELTA DO RIO PARAÍBA DO SUL (RJ) A PARTIR DE UMA DÉCADA DE MONITORAMENTO

BEACH AND FOREDUNES MORPHODYNAMICS INTERACTIONS ALONG PARAIBA DO SUL RIVER DELTA, USING A DECADAL APPROACH

Thaís Baptista da Rocha

Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense
Av. General Milton Tavares de Souza, s/nº, Niterói, Rio de Janeiro. CEP: 24210-346. Brasil
Email: thaisbaptista@id.uff.br

Beatriz Abreu Machado

Departamento de Geografia Física, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rua São Francisco Xavier, 524, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 20550-01. Brasil
Email: bia_abreu23@hotmail.com

Jéssica Conceição da Silva

Departamento de Geografia Física, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rua São Francisco Xavier, 524, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 20550-01. Brasil
Email: silvajessica_19@hotmail.com

Gabriela da Silva Mello

Departamento de Geografia Física, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rua São Francisco Xavier, 524, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 20550-01. Brasil
Email: gabimel_gabi@hotmail.com

Thiago Gonçalves Pereira

Departamento de Geografia Física, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Rua São Francisco Xavier, 524, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. CEP: 20550-01. Brasil
Email: thiagopereira.uerj@gmail.com

Guilherme Borges Fernandez

Departamento de Geografia, Universidade Federal Fluminense
Av. General Milton Tavares de Souza, s/nº, Niterói, Rio de Janeiro. CEP: 24210-346. Brasil
Email: guilhermefernandez@id.uff.br

Informações sobre o Artigo

Recebido (Received):
19/03/2017
Aceito (Accepted):
05/09/2017

Resumo:

O delta do Rio Paraíba do Sul destaca-se como área de ocorrência de dunas frontais associado ao aporte contínuo de sedimentos oriundos do rio e à presença de ventos constantes que sopram do mar para o continente. Recentemente, parte dessas dunas tem avançado sobre as edificações no distrito de Atafona, representando um

Palavras-chave:

Erosão costeira, progradação costeira, dunas frontais, delta do rio Paraíba do Sul.

Keywords:

Coastal Erosion; Coastal Progradation; Foredunes; Paraíba do Sul River Delta.

risco à população local que já sofre com os efeitos da erosão costeira. Por outro lado, na praia de Grussaí, ao sul de Atafona, prevalece o processo de progradação. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é investigar a interação entre os ambientes de praia e duna frontal no delta do rio Paraíba do Sul, considerando o comportamento da linha de costa durante uma década de monitoramento. Foram observadas diferenças morfológicas nas dunas frontais cuja dinâmica está relacionada aos diferentes comportamentos da linha de costa entre Atafona e Grussaí. Em Atafona foram estimadas taxas de até aproximadamente 3,2 m/ano de erosão; e em Grussaí, de até

3,0 m/ano de progradação. A erosão costeira em Atafona fez aumentar a disponibilidade de sedimento para ser retrabalhado pelo vento, o que propiciou o aumento significativo da altura das dunas, formação de cortes eólicos e migração em direção ao continente sob as edificações a uma taxa de até 3,0 m/ano. Em Grussaí, a progradação da praia propiciou o avanço da duna frontal em direção ao mar. Neste caso, houve um aumento da largura das dunas e manutenção da morfologia suave e de pouca elevação. Foram mapeados três setores de dunas costeiras: o setor de dunas transgressivas; o setor de dunas frontais com cortes eólicos; e o setor de cristas de dunas frontais. Conclui-se que a interação entre os ambientes de praia e duna frontal no delta do rio Paraíba do Sul, reflete mais sobre os distintos comportamentos de linha de costa, do que essencialmente sobre a morfodinâmica de praia.

Abstract:

The Paraíba do Sul River Delta stands out as occurrence area of foredunes, associated with the continuous supply of sediments coming from the river and the presence of constant winds. Recently, part of the dunes has advanced over the buildings in Atafona district, representing a risk to the local population. The aim of this study is to investigate beach and foredune interections in the Paraíba do Sul River delta, considering the coastline behavior, using a decadal approach. Morphological differences of foredunes were observed, the dynamics of which is related to the different behaviors in Atafona and Grussaí beaches. At first, in Atafona, rates were estimated to approximately 3,2 m/year of erosion and 3,0 m/year of progradation for Grussaí. Coastal erosion in Atafona increased the availability of sediment to be reworked by the wind, which favored the increase in the height of the dunes, blowouts formation and migration on buildings, with a rate of 3,0 m/year. In Grussaí, the progradation of the beach led the advance of the front dune towards the sea. In this case, an increase in the width of the dunes and maintenance of smooth morphology and low elevation. The study area was divided in three sectors associated to the occurrence of transgressive dunes, foredunes with blowouts and foredunes ridges. The beach and foredune interection in the Paraíba do Sul River delta reflect more about the different behaviors of coastline, than about the beach morphodynamics.

1. Introdução

As dunas costeiras são consideradas feições geomorfológicas que se desenvolvem em planícies costeiras e praias arenosas, onde existe aporte de sedimentos abundantes oriundo principalmente da zona submarina. Quando estes sedimentos chegam à praia através da ação das ondas, as dunas costeiras podem se formar através dos ventos que sopram em direção à costa (DAVIDSON-ARNOTT, 2010). As dunas costeiras possuem grande relevância em termos ecossistêmicos, uma vez que estão em ambientes de transição entre o continental e o marinho. Sua ocorrência independe da latitude e do clima, cuja distribuição se dá desde as áreas polares às latitudes tropicais e desde as áreas desérticas

às áreas tropicais úmidas (MARTINEZ *et al.* 2004).

Dentre os tipos de dunas costeiras, as dunas frontais são consideradas acumulações paralelas à linha de costa, desenvolvidas no setor de pós-praia, formadas essencialmente pela retenção de sedimentos por ação da vegetação (HESP, 2002). A zona submarina e a praia apresentam o papel de fonte de sedimentos, que depois passam ser remobilizados pelos ventos, criando depósitos estabilizados pela vegetação rasteira e esparsa, como as espécies *Ipomoeapes-caprae* e *Spinifex*. São mais próximas da linha de costa e são diretamente influenciadas pela ação das ondas, guardando funções de proteção à costa e de estoque de sedimentos para o ambiente praiado (HESP, 2002).

Apesar da praia ter um importante papel na formação das dunas, nem toda praia apresenta condições favoráveis à sua formação. As principais variáveis que irão influenciar a interação praia-duna são a declividade da praia, a granulometria e a largura da praia. Considerando as características ideais para a formação das dunas, as praias dissipativas oferecem as melhores condições para o retrabalhamento eólico. São praias de alta energia (altura de ondas) e conseqüentemente possuem zona de surfe bem desenvolvida e dinâmica, com declividade praial suave, formada de sedimentos finos a muito finos. Além disso, quanto maior a energia das ondas, menor a estabilidade das dunas frontais e maior será a sua altura. (SHORT e HESP, 1982; SHERMAN e BAUER, 1993).

A interação praia-duna também pode ser analisada a partir da perspectiva do balanço sedimentar entre esses dois ambientes. De acordo com Psuty (1988), quando o balanço sedimentar da praia é levemente negativo e o balanço das dunas é positivo, isto é, quando os sedimentos são continuamente transportados da praia para a duna, ocorrem as condições ótimas para o desenvolvimento das dunas frontais. No caso do balanço sedimentar da praia ser positivo, refletindo em progradação da linha de costa, a tendência é que se formem sucessivas cristas de dunas frontais (*foredune ridges*), refletindo numa morfologia suave e altimetria baixa. Já no caso do balanço sedimentar da praia e das dunas serem negativos, a tendência é que ocorra a destruição das dunas e se tenha a ocorrência de leques de transposição.

Recentemente, Hesp e Walker (2013) relacionaram a morfologia das dunas frontais aos processos de erosão e progradação da praia, a partir de uma lógica semelhante à de Psuty (1988). De acordo com os autores, praias com altas taxas de suprimento sedimentar e que apresentam progradação, tendem a resultar em formação de um campo de dunas frontais com largura extensa, porém com altura mais reduzida. Já praias que sofrem com processos de erosão, tendem a produzir dunas frontais com altura elevada e menor largura devido ao empilhamento de sedimentos que são disponibilizados pela erosão da praia, devido ao processo de *scarp and fill*, e também uma gradual migração em direção ao continente.

Sobre a perspectiva da interação praia-duna e do balanço sedimentar, Psuty (1992, 2004) adicionou o

componente de transporte longitudinal à ocorrência das dunas frontais, enfatizando áreas com aporte sedimentar fluvial, como no caso dos deltas de costa dominada por ondas. Segundo o autor, o balanço sedimentar altamente positivo da praia próximo à foz desenvolveria cristas de dunas frontais de altimetria reduzida e, ao longo da costa, seguindo a direção do transporte longitudinal, ocorreria o aumento das dunas frontais, uma vez que aumentaria o balanço sedimentar da duna e diminuiria o do ambiente de praia. Num contexto evolutivo, as áreas mais afastadas da foz poderiam desenvolver um balanço negativo na praia e nas dunas, desenvolvendo cortes eólicos (*blowouts*) e dunas parabólicas.

No litoral do Rio de Janeiro, Fernandez *et al.* (2009) destacam a borda sul do delta do rio Paraíba do Sul como área expressiva de ocorrência de dunas frontais, principalmente próximo à foz, entre os distritos de Atafona e Grussaí, no município de São João da Barra (RJ). Esta ocorrência está associada ao aporte contínuo de sedimentos oriundos do rio e a presença de ventos constantes de direção NE. Ribeiro *et al.* (2007) mapearam as dunas próximo à foz com DGPS (*Differential Global Positioning System*), porém os dados apresentam uma limitação temporal, uma vez que somente dois mapeamentos foram realizados, ambos no ano de 2006.

Apesar do delta do Paraíba do Sul representar uma feição progradante da borda costeira, construída nos últimos 5.000 anos em condições de diminuição do nível do mar e disponibilidade de sedimentos (DOMINGUEZ *et al.* 1981), ocorrem períodos erosivos e frequentes realinhamentos da linha de costa. A erosão costeira não ocorre de maneira generalizada, mas predominantemente na localidade de Atafona, enquanto pode ocorrer progradação em Grussaí.

Tais processos já foram documentados por Dias (1981), Bastos (1997), Azevedo (2004), Santos (2006), Fernandez *et al.* (2008) Rocha (2009), Rocha *et al.* (2013). Estes últimos, inclusive, identificaram alterações morfológicas nas dunas frontais durante um período erosivo em meados do ano de 2008. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é investigar a interação entre os ambientes de praia e duna frontal no delta do rio Paraíba do Sul e avaliar a sua dinâmica durante uma década de monitoramento, considerando os aspectos de morfodinâmica e comportamento de linha de costa.

2. Área de Estudo

A área de estudo localiza-se na região Norte Fluminense, no município de São João da Barra. A área investigada corresponde a um trecho de litoral de aproximadamente 10 km, abarcando as praias de Atafona e Grussaí. Esta área está localizada na margem Sul do delta do Rio Paraíba do Sul, imediatamente adjacente à foz (Figura 1).

O delta do rio Paraíba do Sul está inserido numa área de clima tropical úmido (COSTA, 1994), caracterizada por uma estação chuvosa no verão e uma estação seca no inverno, cuja precipitação média anual é de aproximadamente 900 mm (disponível em <http://campuseg.ufrj.br/precipitacao-pluviometrica/>). A influência da célula de Alta Pressão do Atlântico Sul é responsável pelos ventos do quadrante NE, considerados predominantes na região, que atuam com velocidades entre 2,6 – 5,0 m/s, em média (PINHO, 2003). Esses ventos são os que mais influenciam o transporte eólico e o desenvolvimento das dunas costeiras na área de estudo. Os ventos de S, SE e, em menor expressividade, os de SW também atingem a região, sendo decorrentes da passagem de Sistemas Frontais que atuam principalmente no período de inverno (PINHO, 2003).

Dados levantados por Vasconcelos *et al.* (2016) expressam um padrão bimodal de atuação de ondas no respectivo litoral, com direção de propagação de pico de NE e SE a partir de dados obtidos pelo modelo WAN para Bacia de Campos. Este padrão decorre da atuação dos ventos locais de direção NE, formando ondas do mesmo quadrante; com as ondas do quadrante Sul, relacionadas aos sistemas frontais. Esse padrão bimodal também foi observado por Souza (2011), a partir da análise de dados de ondas entre 2005 e 2011. De acordo com a autora a maioria das ondas incidentes nessa costa vem da direção NE, com 33% dos registros, cuja maior frequência de alturas não ultrapassa à 1,0 m. Já as ondas do quadrante S/SE chegaram à 30% dos dados observados, cujas alturas podem ultrapassar à 3,0 metros. A amplitude das marés fica em torno de 1,3 m na maré sizígia sendo, portanto, classificado como um litoral de micro-maré.

Além do papel das ondas como principal elemento na construção do delta e da dinâmica costeira associada,

a componente de deriva litorânea também é considerada bastante relevante na atuação dos processos costeiros na respectiva área. Vasconcelos *et al.* (2016) calcularam o transporte residual a partir da reconstituição do clima de ondas entre os anos de 2004 e 2007 e verificaram que o sentido predominante da deriva litorânea é voltado para Sul, corroborando outros autores como Dias e Gorini (1980) e Cassar e Neves (1993). O contrário também já foi defendido por Dominguez (1996), cujo sentido da deriva seria predominante de Sul para Norte, justificando o efeito do “molhe hidráulico” no desenvolvimento do delta.

Considerando os aspectos geomorfológicos, a área de estudo concentra-se nos ambientes fisiográficos de praia e dunas costeiras, que fazem parte da planície deltaica do rio Paraíba do Sul (Figura 1). Esta planície é predominantemente formada por uma sucessão de feixes de cristas de praia de direção geral NE-SW, intercaladas por estreitas depressões, que foram formadas num contexto de progradação nos últimos 5.000 anos, associado à diminuição do nível relativo do mar e aporte sedimentar abundante. Contudo, essas cristas de praia estão separadas entre si por truncamentos na sua orientação predominante que marcam as fases erosivas e de interrupção da progradação do delta (DOMIGUEZ *et al.* 1981; SILVA, 1987; MARTIN *et al.* 1997; BASTOS, 1997; ANGULO *et al.* 2006).

Essa fase erosiva tem sido observada atualmente no distrito de Atafona, sendo responsável pelo realinhamento da linha de costa e perdas significativas de edificações e estruturas urbanas. Santos (2006), a partir de fotografias aéreas, estimou uma velocidade média de erosão e progradação residual para o período de 1954 e 2004 de 3,2 m/ano de erosão para Atafona, e 3,1 m/ano de progradação em Grussaí. Segundo Santos (2006) a área total erodida durante esse período foi estimada em 906.368 m², o que representou segundo Azevedo (2004) a destruição de 14 quadras, totalizando 183 construções destruídas ou severamente danificadas em função da tendência erosiva verificada na área. De acordo com Fernandez *et al.* (2008) a erosão acabou disponibilizando mais sedimentos e a ação dos ventos permitiu o maior desenvolvimento das dunas no distrito de Atafona, que passaram a migrar sobre as edificações.

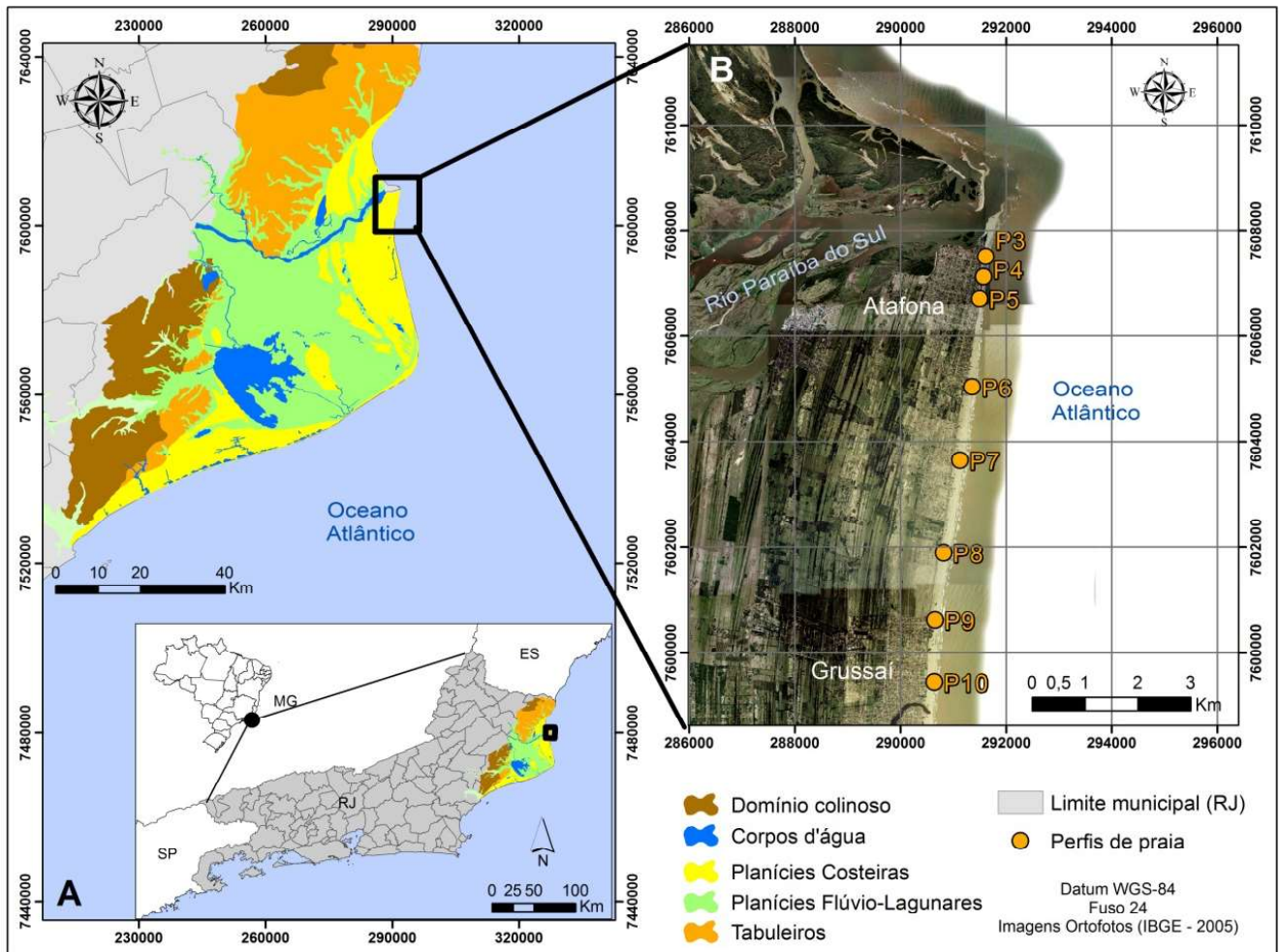


Figura 1 - (A) Localização da área de estudo e contextualização geomorfológica do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul (Fonte do mapeamento: modificado do CPRM). (B) Localização dos distritos de Atafona e Grussaí; e dos pontos de monitoramento de perfis de praia.

3. Materiais e Métodos

A fim de representar a interação morfodinâmica entre os ambientes de praia e duna, foram realizados perfis topográficos bidimensionais transversais à praia. Ao todo, serão apresentados 5 perfis transversais distribuídos entre os distritos de Atafona e Grussaí (localização dos perfis na figura 1). Esses perfis, do P5 ao P9, estão na área mais representativa da ocorrência das dunas frontais. Esses pontos são parte de uma rede de monitoramento iniciada em 2005, pelo Laboratório de Geografia Física da Universidade Federal Fluminense (LAGEF – UFF), que são monitorados até o presente momento, já compondo um período de uma década.

As medições foram feitas utilizando Estação Total (modelo Trimble Series 5500), que obtém dados

topográficos a partir de Referenciais de Níveis, a priori corrigidos pelo nível médio do mar, conforme metodologia estabelecida por Muehe *et al.* (2003). Dependendo das condições de mar, os perfis foram estendidos para a zona submarina. Após as aquisições dos dados em campo, os perfis topográficos foram plotados no software Grapher7.

Com o objetivo de caracterizar a distribuição granulométrica dos sedimentos, foram coletadas amostras nas dunas frontais, berma, face de praia e zona de surfe. As amostras foram preparadas em laboratório, seguindo as etapas de lavagem, secagem e quarteamento, de acordo com Muehe (2003). O processamento foi realizado no analisador de partículas óptico (20 – 30.000 μm) CAMSIZER P4 da Retsch. Parâmetros estatísticos como média, mediana, moda,

desvio padrão, grau de seleção e assimetria foram analisados com o programa Gradistat.

Também foi realizado um mapeamento tridimensional de detalhe morfológico das dunas frontais, com a finalidade de gerar Modelos Digitais de Elevação (MDE), utilizando um Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS - GTR-G² L1L2), no ano de 2015. Foram realizados blocos diagrama de acordo com o método proposto por Baptista *et al.* (2008), a partir do “scaneamento” de uma área representativa. Neste, um operador transporta uma antena num bastão dentro da área a ser mapeada, enquanto a outra antena fica posicionada de forma fixa num ponto de coordenadas já conhecidas, o que proporciona a correção diferencial das cotas obtidas. Para isso, foi utilizado o software GTR-Processor 2.87 e o MAPGEO, para a definição das altitudes ortométricas. Finalmente, esse “scaneamento” gerou uma série de pontos que foram interpolados pelo método *Kriging* no software Surfer 8.0, visando a confecção do MDE.

Para completar a análise decadal, foram realizados dois caminhamentos entre Atafona e Grussaí, com DGPS na base da duna frontal, nos anos de 2008 e 2015. Estes dados foram plotados em Ortofotos do ano de 2005, com resolução espacial de 1m, disponibilizado pelo IBGE. O mapeamento da base da duna frontal é representado por elementos fisiográficos como o limite da vegetação e/ou escarpa da duna. Cabe ressaltar que estes elementos também representam indicadores de linha de costa, caracterizados como indicadores discerníveis visualmente, referentes a limites de pós-praia (BOAK e TURNER, 2005). Segundo Muehe e Klumb-Oliveira (2014), estes indicadores possuem a interessante vantagem de não serem suscetíveis às variações das marés e do tipo de morfodinâmica de praia.

Além da Ortofoto do ano de 2005, também foram utilizadas imagens do acervo da Digital Globe dos anos de 2010 e 2016, com resolução espacial de aproximadamente 0,65 m. Estas imagens foram adquiridas através do programa Google Earth Pro e foram georreferenciadas pelo ArcGis 10.1, com base no posicionamento das Ortofotos. A partir dessas imagens, as dunas frontais foram mapeadas em escala de 1:3.000 com o objetivo de verificar a sua dinâmica e

possíveis taxas de avanço em direção ao continente ou em direção ao mar. O mapeamento das dunas frontais foi realizado de forma vetorial, a partir de indicadores visuais, como o contato da linha de vegetação. Esse mapeamento não foi realizado de forma espacialmente contínua, em função da dificuldade em determinados trechos de visualizar tais critérios. Neste sentido, buscou-se o mapeamento de trechos das dunas frontais próximos aos perfis de praia.

4. Resultados e discussões

4.1 Análise granulométrica

As características granulométricas dos ambientes de duna frontal, face de praia, berma e zona de surfe foram predominantes nas classes de areia grossa e areia média (Figura 2A), refletindo nas características de morfodinâmica de praia do tipo intermediária, conforme já apontado por Rocha (2009). Em dados obtidos a partir do parâmetro Δ (MUEHE, 1998) a autora identificou o estado morfodinâmico intermediário como o predominante para os respectivos perfis de praia indicados no presente trabalho. Nesse espectro das praias intermediárias, a autora identificou a ocorrência expressiva do estado de Terraço de Baixa-Mar nos perfis mais próximos à foz; e do estado de Banco e Calha Longitudinal, nos perfis próximos à Grussaí.

A característica granulométrica dos sedimentos provavelmente está relacionada ao aporte sedimentar de origem fluvial no sistema costeiro (Figura 2A), o que é demonstrada pela presença de grãos angulosos (Figura 2C). A assimetria pode ser utilizada para separar depósitos eólicos de praias que tendem a apresentar sinal positivo e negativo, respectivamente; assim como a seleção tende a ser melhor nos sedimentos eólicos do que praias (McLAREN, 1981). Porém, não foi identificado o padrão esperado de assimetria e seleção para sedimentos de ambiente praias e eólico (Figura 2B), provavelmente em função da dinâmica costeira com variados *inputs* de sedimentos, como o rio Paraíba do Sul e correntes de deriva litorânea, que podem ter sentido Sul ou Norte, dependendo das condições de onda, embora o primeiro seja o predominante (CASSAR e NEVES, 1993; MACHADO, 2009).

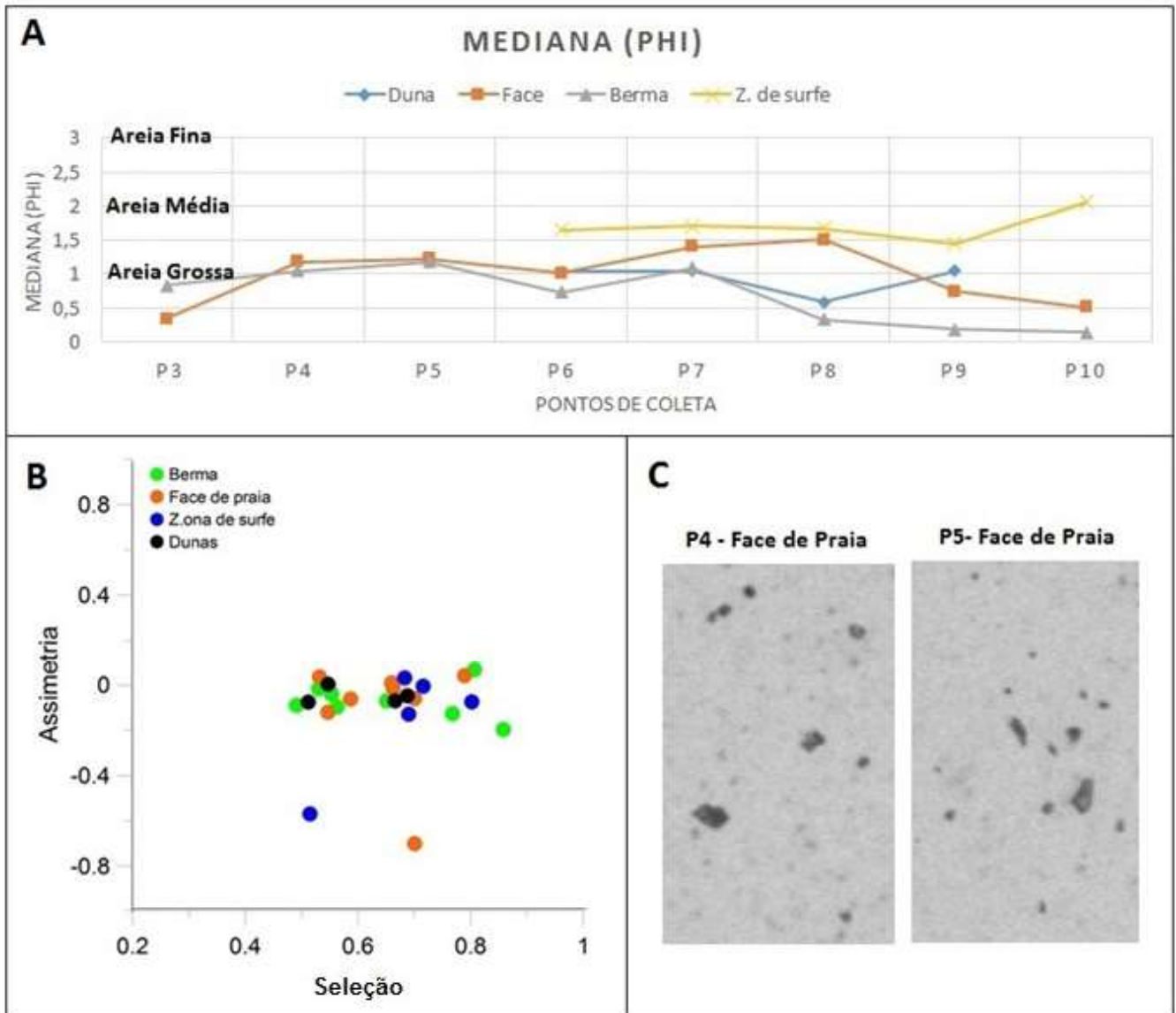


Figura 2 - (A): Mediana das amostras de duna frontal, face de praia, berma e zona de surfe. (B): Correlação de assimetria e seleção das amostras. (C): Registros dos grãos de sedimentos obtidos no CAMSIZER, durante o processamento.

4.2 Representação tridimensional das dunas e análise dos perfis de praia

Entre Atafona e Grussaí, as dunas frontais apresentam características morfológicas distintas, conforme pode ser observado na representação tridimensional na figura 3. No MDE realizado entre os perfis 5 e 6, as dunas possuem altimetria significativamente elevada, podendo alcançar até 12 m em relação ao nível médio do mar. Não possui uma morfologia bem definida, mas um expressivo volume de sedimentos empilhados, com algumas cristas e

cavas (Figuras 3A e 9B). No MDE referente ao perfil 6, as dunas frontais apresentam a frente escarpada devido ao processo erosivo concentrado no distrito de Atafona, cotas que alcançam em média 8,0 metros acima do nível médio do mar e uma sucessão de cortes eólicos (*blowouts*) na direção NE-SW, conforme a direção predominante dos ventos (Figuras 3B e 5). Já no MDE representativo do perfil 8, na localidade de Grussaí, as dunas frontais possuem cotas consideravelmente mais baixas, em torno de 4,5 m; largura em torno de 100 m, além de uma extensa área de berma no ambiente praial (Figuras 3C e 6).

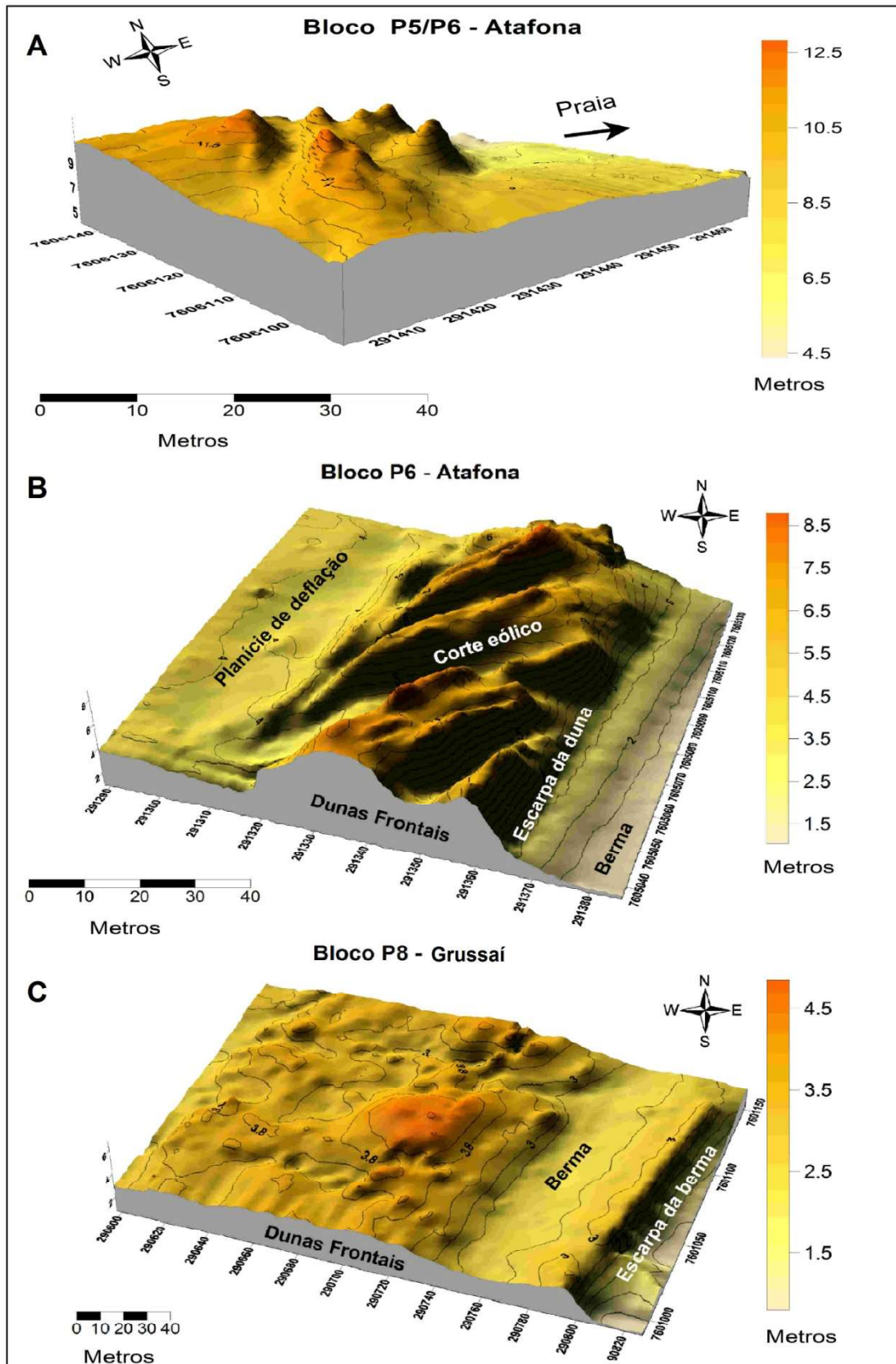


Figura 3 - MDEs das dunas frontais. (A) MDE entre o P5 e o P6. O topo das dunas pode chegar a 12 m. (B) MDE no P6. As dunas chegam a 8,5 metros em relação ao nível médio do mar. Notar a ocorrência de cortes eólicos e face escarpada. O MDE no P8 mostra a altimetria mais baixa nas dunas frontais e a berma extensa.

O monitoramento dos perfis de praia realizado no período de 11 anos mostrou interessantes resultados com a relação ao comportamento da linha de costa e a dinâmica das dunas frontais, que se desenvolvem sobre as cristas de praia do flanco sul da planície deltaica. Os perfis 5 e 6 são representativos do setor de erosão costeira e retrogradação da linha de costa, localizados no distrito de Atafona, conforme também identificado por Bastos (1997), Santos (2006), Rocha (2009) e Rocha *et al.* (2013). Considerando a escarpa de pós-praia como um indicador para avaliar o processo de erosão costeira no perfil 5 (Figura 4), houve um recuo de aproximadamente 35 metros nos últimos 11 anos, representando uma taxa de 3,2 m/ano. Este valor é similar ao encontrado por Santos (2006), cuja avaliação foi obtida através de fotografias aéreas para o período entre 1954 e 2000 resultando numa taxa de até 3,2 m/ano. Cabe ressaltar que neste ponto a presença das dunas frontais era notável até meados de 2008, quando um forte pulso erosivo passou a recuar a escarpa de pós-praia, e as dunas colapsaram na base da praia. Parte desses sedimentos, disponíveis na praia, contribuíram para o alteamento e avanço em direção ao continente das dunas frontais mais ao Sul do perfil 5, como no caso do perfil 6.

O perfil 6 também apresentou tendência de erosão costeira, cuja base da duna frontal apresentou um recuo de aproximadamente 10 metros, até o ano de 2015 (Figura 4). Além do comportamento erosivo, foram observadas expressivas alterações da morfologia das dunas frontais como o desenvolvimento de uma face barlavento escarpada, a formação de cortes eólicos (*blowouts*) e aumento do topo da duna em aproximadamente 2,0 metros, cuja cota passou de 6,0 para até 8,0 metros em relação ao nível médio do mar (Figuras 4 e 5). Em 2016, o aprofundamento do corte eólico e a contínua redução da berma contribuíram para o colapso de parte da duna frontal, frente ao ataque sistemático das ondas. Esse processo aumentou o recuo da base da duna para 20 m em relação ao início do monitoramento, gerando uma taxa de recuo de aproximadamente 1,8 m/ano. Essas alterações têm levado ao processo de migração da duna em direção ao continente, ainda em processo inicial neste ponto, mas que tem ocorrido de forma rápida entre os perfis 5 e 6 (Figuras 4 e 8A).

O perfil 7, mais afastado da área de ocorrência expressiva da erosão costeira, apresentou comportamento de estabilidade ao longo do período de monitoramento, isto é, sem apresentar um comportamento predominante de erosão ou progradação. Ainda assim, foi observado um aumento também expressivo da altura das dunas frontais, cujas cotas passaram de aproximadamente 4,5 metros para 6,0 metros (Figura 4). Embora o processo de erosão

não tenha sido a resultante ao longo do monitoramento, provavelmente o aumento das dunas nesse ponto se deu a partir da maior disponibilidade de sedimentos decorrente da erosão costeira nos pontos anteriores que foram transportados pelos ventos de NE.

As características morfológicas das dunas frontais nos perfis 8 e 9 são distintas dos perfis anteriores, cuja altura é mais baixa, entre 3,5 e 4,0 metros em relação ao nível médio do mar. Estes perfis apresentaram comportamento de progradação nos últimos onze anos, da ordem de aproximadamente 25 metros e 30 metros respectivamente, considerando o indicador morfológico da crista da berma (Figura 4). Nesse sentido, esse setor compreendido no distrito de Grussaí, apresenta taxas de progradação de até 3,0 m/ano, também semelhante aos 3,1m/ano identificado por Santos (2006).

O monitoramento dos perfis 8 e 9 indicou a progradação da berma e o subsequente avanço das dunas frontais sobre essa feição, à medida que a vegetação pioneira também avança (Figura 6 e 7C). Este processo retrata, inclusive, o processo de gênese de crista de praia (*beach ridges*) por incorporação de berma com posterior capeamento eólico, de acordo com Tamura (2012). Essa morfologia representa a feição e o contexto deposicional predominante na planície deltaica. Porém, considerando que a deposição eólica tem se tornado significativamente expressiva nos últimos anos de monitoramento, associada à evidente colonização da vegetação que tem avançado em direção ao mar, o termo “crista de duna frontal” (*foredune ridges*) também poderia ser utilizado, conforme apontado por Hesp *et al.* (2005).

Os processos erosivos da linha de costa e a morfodinâmica da praia regulam o processo de espessamento e de escalonamento das alturas das dunas. Este processo (*scarp and fill*) foi verificado por Carter *et al.* (1990), em que os autores notaram o aumento das cotas altimétricas das dunas em função de processos erosivos cíclicos. Neste caso, a erosão costeira em Atafona, acabou disponibilizando mais sedimentos e a ação dos ventos de mar para o continente permitiu o maior desenvolvimento das dunas e a formação dos cortes eólicos. Os processos observados nas dunas frontais através do monitoramento dos perfis de praia entre o perfil 5 e 6, como recuo da base da duna, avanço em direção ao continente, formação de cortes eólicos, ou mesmo a sua destruição são condizentes com o modelo proposto por Hesp (2002) sobre as possíveis respostas à médio e longo prazo das dunas frontais para o caso das costas que sofrem processos erosivos. Assim como, também são condizentes, os processos de avanço da linha de vegetação e consequente avanço das dunas frontais para o caso de costas progradantes, do mesmo autor.

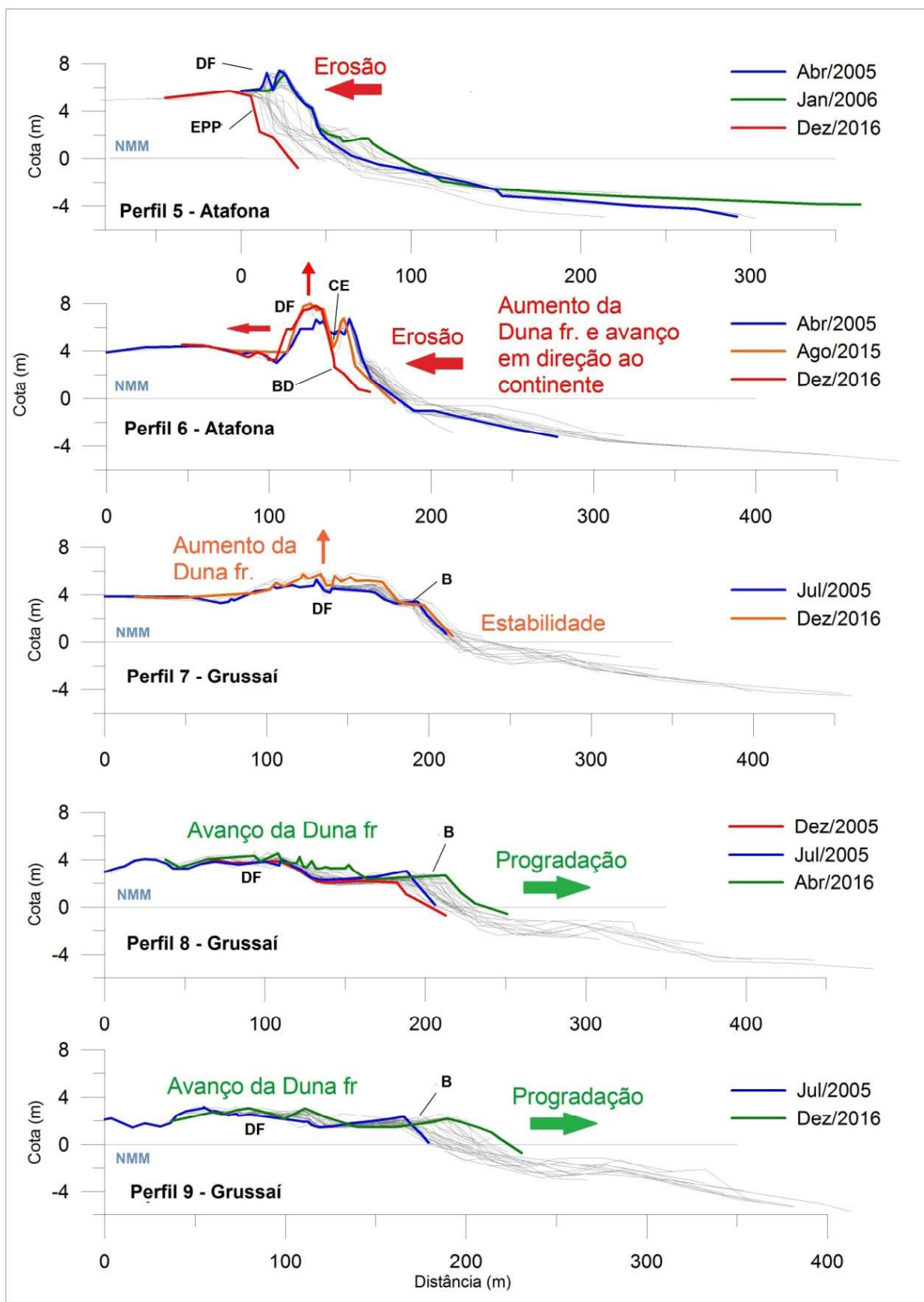


Figura 4: Monitoramento dos perfis de praia, entre 2005 e 2016. EPP: Escarpa de Pós-Praia; B: Berma; BD: Base da Duna; CE: Corte Eólico; DF: Duna Frontal.



Figura 5 - Dunas frontais no perfil 6. Notar o corte eólico na direção NE-SW. Foto de abril de 2016.



Figura 6 - Cristas de dunas frontais no perfil 8. Notar a berma extensa, a altimetria baixa da duna e a vegetação pioneira. Foto de agosto de 2015.

4.3 Representação em planta da dinâmica das dunas e linha de costa associada

A dinâmica das dunas frontais, bem como do comportamento da linha de costa, também foi identificada através da comparação de caminhamentos realizados com DGPS na base da duna frontal, visualmente discernível a partir da escarpa e/ou linha de vegetação, nos anos de 2008 e 2015, conforme mostra a figura 7. Próximo ao perfil 4 (Figura 7A), é possível observar que aproximadamente metade de um quarteirão no distrito de Atafona foi destruído pela erosão costeira, considerando que imagem-base é do ano de 2005. Neste caso, o caminhamento foi realizado na base da escarpa de pós-praia que recuou progressivamente em direção ao continente, cerca de 40 metros nos últimos 11 anos. Não foi possível realizar o caminhamento em 2008 neste setor, devido aos destroços das edificações à época do levantamento.

Na figura 7B, entre os perfis 5 e 6, foi observado que a base da duna, recuou cerca de 10 metros entre 2008 e 2015, semelhante ao monitoramento dos perfis de praia transversais à costa. Na imagem, ainda é possível identificar o avanço das dunas em direção ao arruamento principal. Já na figura 7C, foi identificado o avanço da base da duna em direção ao mar, mapeado pelo limite da vegetação, da ordem de aproximadamente 30 metros, também similar ao monitoramento dos perfis de praia.

Na comparação do mapeamento das dunas frontais entre os anos de 2005, 2010 e 2016, foram observados processos e comportamentos que corroboram a dinâmica analisada até então pelos perfis de praia. Próximo ao perfil 5, é possível identificar o avanço progressivo das dunas frontais em direção ao continente a uma taxa média de 3,0 m/ano (Figura 8A). Nesse setor, as edificações e infra-estrutura urbana estão muito próximas à costa e, neste caso, as dunas têm avançado sobre essas construções configurando mais um elemento de risco ao distrito de Atafona, que já convive há décadas com o risco associado à erosão costeira. Na figura 9, nota-se o avanço das dunas sobre os arruamentos e as casas, o que tem levado à interdição total ou parcial de ambos. Em áreas em que não há a proteção de muros e/ou edificações, o avanço das dunas pode ser ainda mais rápido e expressivo. Na mesma figura, também é evidente a alteração da linha de costa devido ao processo erosivo, a partir da configuração da linha de vegetação.

Próximo ao perfil 6, também é possível observar a migração da duna em direção ao continente, mas a partir dos lobos deposicionais dos cortes eólicos, também a taxas semelhantes ao ponto anterior. Já próximo ao perfil 8, o mapeamento das dunas frontais indicou um avanço em direção ao mar a partir da linha de vegetação, de aproximadamente 2,0 m/ano (Figuras 8B e 8C).

Cabe destacar que a migração das dunas frontais em direção ao continente no setor do perfil 5 e do perfil 6 ocorrem de maneira diferenciada. Enquanto neste último a migração ocorre a partir de cortes eólicos; próximo ao perfil 5, a duna migra na forma de um expressivo lençol de areias (Figuras 8A e 9B). Tal característica sugere que essas feições eólicas possam ser do tipo “campo de dunas transgressivas”, que são corpos arenosos com dimensões expressivas, parcialmente vegetadas e que migram em direção ao continente. De acordo com Hesp (2013), podem ser formadas por tipologias de dunas móveis, como barcanas, barcanóides e transversais ou podem não apresentar uma morfologia bem definida. As dunas transgressivas podem ser formadas a partir da gradual ou total destruição de um complexo de dunas frontais e cortes eólicos, cujo processo pode decorrer de sucessivos eventos de tempestade, erosão costeira ou eventos de alteração climática (HESP, 2013), cujo cenário é bastante coerente como a encontrada na área de estudo. Provavelmente, a ocorrência das dunas transgressivas nesse ponto está associada à ocorrência das maiores taxas de erosão costeira encontrada na mesma área (Figura 4), que propicia um rápido empilhamento de sedimentos e dificulta a fixação da vegetação (Figura 9B).

4.4 Modelo síntese da interação praia-duna no delta do rio Paraíba do Sul

A interação dos sistemas praia-duna entre Atafona e Grussaí corrobora o modelo proposto por Hesp e Walker (2013), onde os processos de progradação ou erosão da praia tendem a influenciar a morfologia das dunas frontais. Praias com altas taxas de suprimento sedimentar e que apresentam progradação tendem a resultar em formação de um campo de dunas frontais com largura extensa, porém altura mais reduzida, conforme observadas em Grussaí. Já praias que sofrem com processos de erosão tendem a produzir dunas frontais com altura elevada e menor largura, devido ao empilhamento de sedimentos que são disponibilizados pela erosão da praia, como no caso de Atafona.

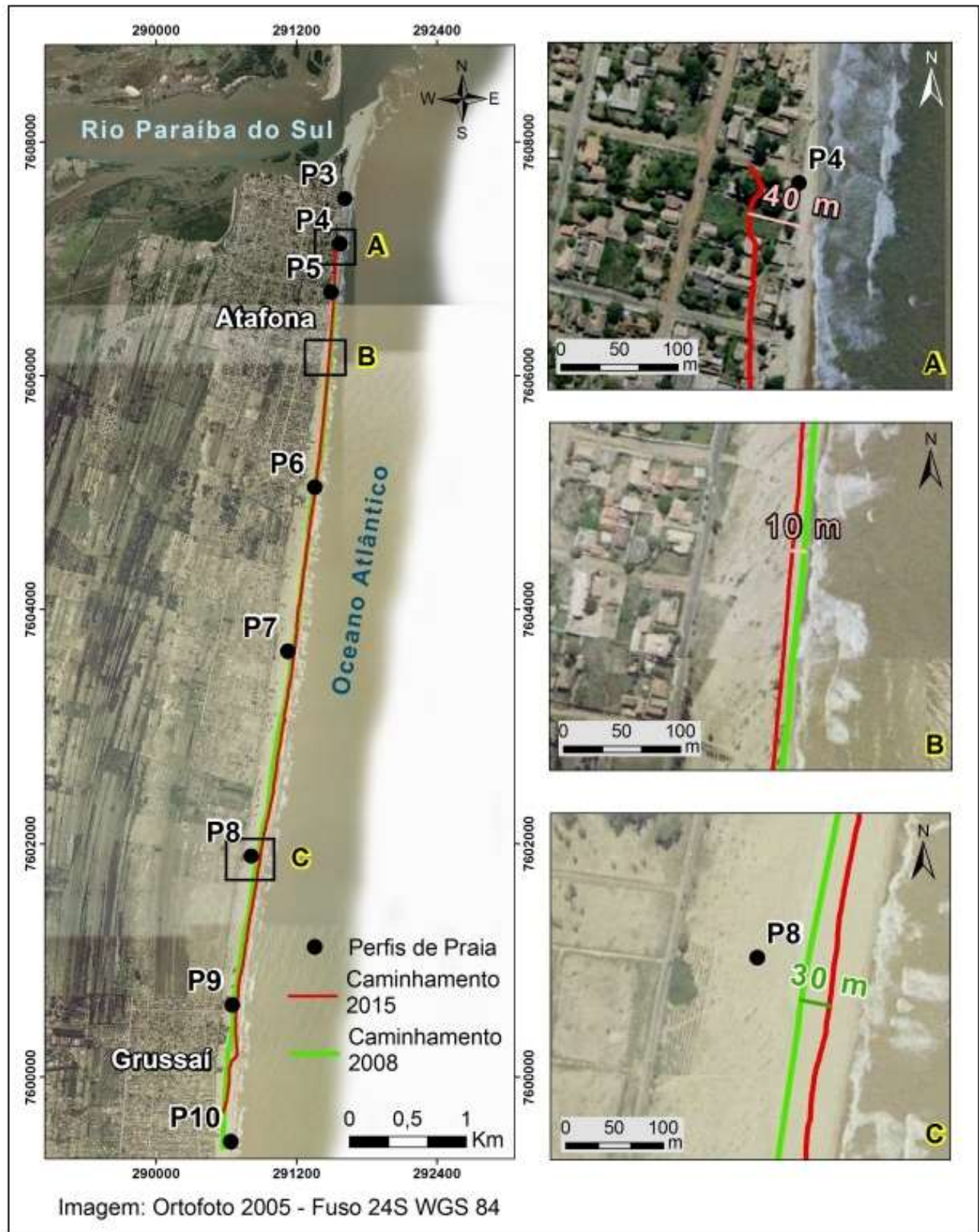


Figura 7 - Dinâmica das dunas frontais e da linha de costa obtidos a partir caminhamentos com DGPS em 2008 e 2015, especializados nas Ortofotos de 2005. (A) Erosão costeira representada pelo recuo da escarpa de pós-praia. (B) Erosão costeira representada pelo recuo da base da duna (linha de vegetação). (C) Progradação da linha de costa representada pelo avanço da linha de vegetação em direção ao mar.

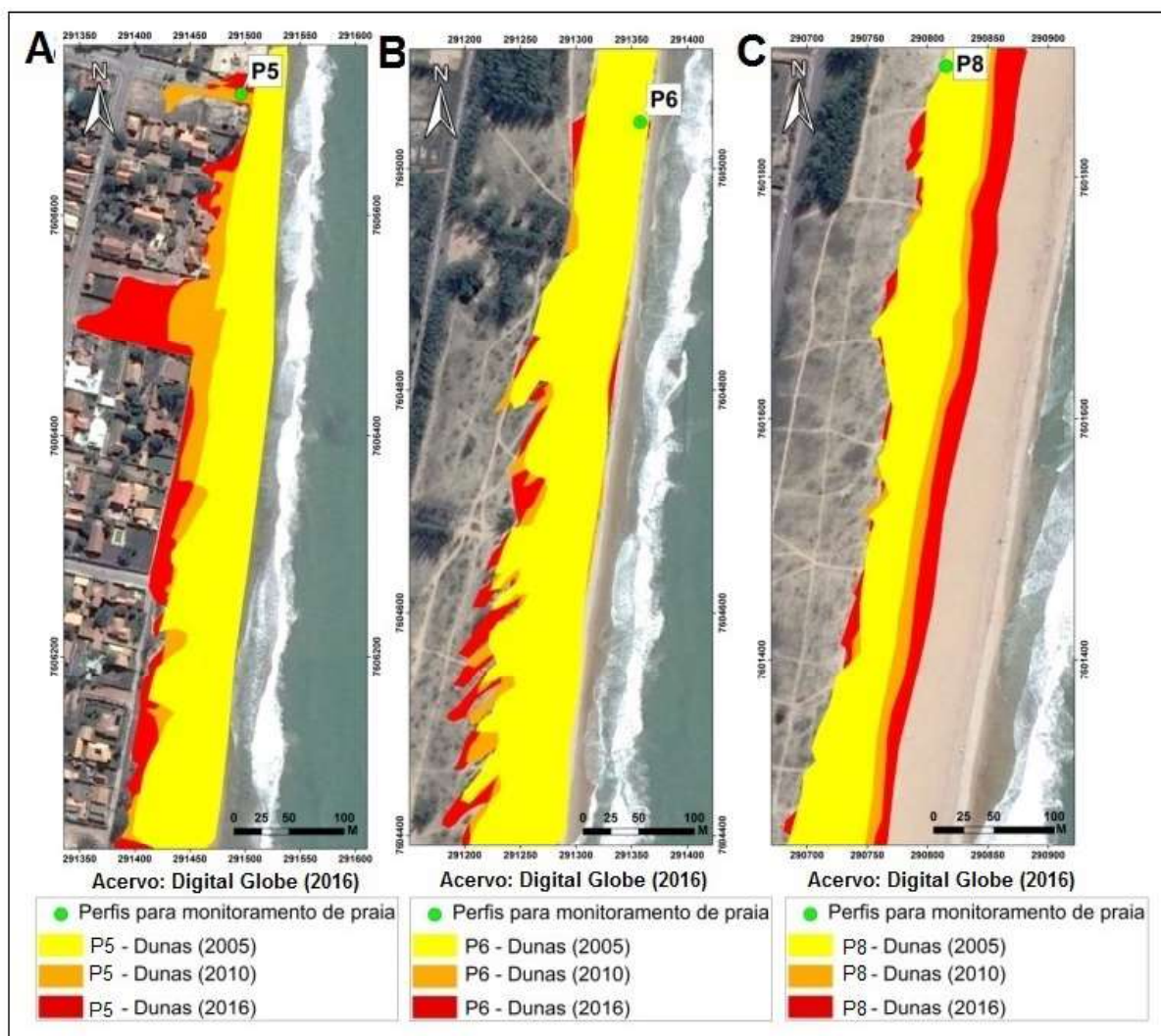


Figura 8 - Mapeamento das dunas frontais nos anos de 2005, 2010 e 2016. (A) Migração das dunas sobre as edificações. (B) Migração das dunas frontais em direção ao continente a partir de cortes eólicos. (C) Avanço das dunas frontais em direção ao mar, considerando o limite da linha de vegetação.

O avanço das dunas frontais em direção ao mar e a progradação da praia identificados em Grussaí é reflexo do transporte de sedimentos oriundos do setor erosivo da planície, no sentido Sul pela deriva litorânea, considerada predominante por Cassar e Neves, 1993; Machado, 2009; Vasconcelos *et al.* (2016); além de uma possível convergência de derivas litorâneas de direções Norte e Sul, apontado por Rocha (2009). Já a erosão costeira, localizada próxima à foz, no distrito de Atafona, possui diversas hipóteses na qual destacam-se a convergência de energia de ortogonais de ondas (BASTOS, 1997; SOUZA, 2011) e alterações climáticas e oceanográficas, como decorrente de efeitos de El Niño (SANTOS, 2006).

Mais recentemente, as previsões de aumento do nível do mar decorrentes das mudanças climáticas, frequentemente são citadas pela mídia local também como

possível causa para a erosão costeira. Esse fator ainda é de difícil avaliação e, além disso, a presença de truncamentos erosivos que cortam o alinhamento das cristas de praia ao longo da planície costeira sugere que esse processo ocorre na forma de “pulsos” erosivos na escala geológica (DOMIGUEZ *et al.* 1981; MARTIN *et al.* 1997; BASTOS, 1997). Logo, provavelmente, os episódios de erosão costeira fazem parte da história de construção e evolução desta planície costeira ao longo da holoceno, significando breves momentos de interrupção da progradação do delta. Contudo, não deve ser descartada a possibilidade de influência antrópica no atual processo erosivo como sendo decorrente, por exemplo, de alterações na descarga sedimentar da bacia e da construção de barragens ao longo do Rio Paraíba do Sul, sobretudo a partir da década de 50 do século passado (ROCHA, 2009; COSTA, 1994).

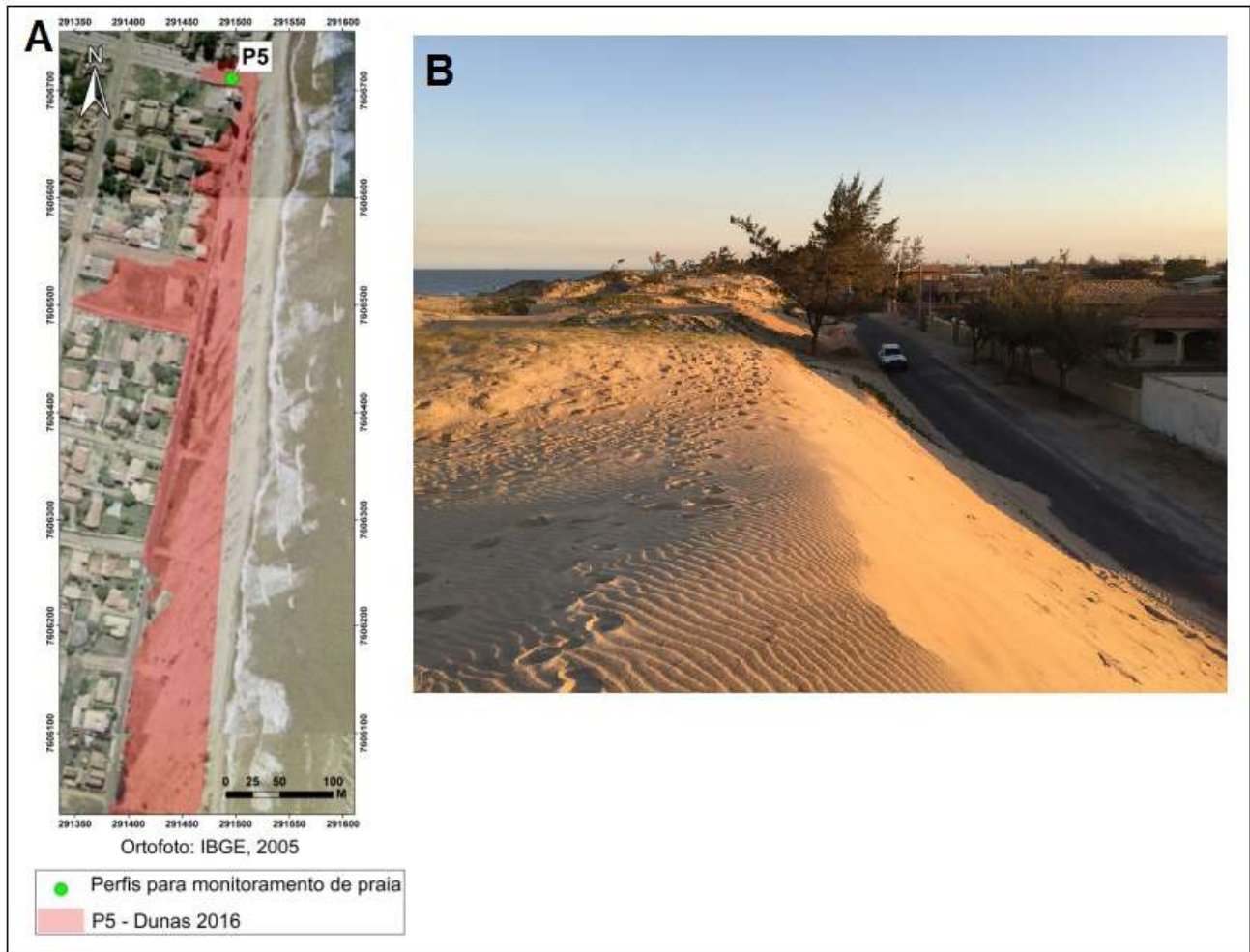


Figura 9 - (A) Mapeamento das dunas no ano de 2016, sob a Ortofoto do ano de 2005. Notar o avanço das dunas sobre as edificações. (B) Dunas transgressivas migrando sobre o traçado viário. Foto de Agosto de 2015.

Considerando o comportamento da linha de costa e a morfologia das dunas frontais, foram definidos três setores distintos (Figura 10). Os setores 1 e 2 estão localizados na área de ocorrência do processo de erosão costeira. São caracterizados pela ocorrência de dunas transgressivas no setor 1; e por dunas frontais com cortes eólicos, no setor 2. Em ambos os setores, as dunas migram em direção ao continente à uma taxa média de aproximadamente 3,0 m/ano. Contudo, no setor 1 essa migração ocorre de maneira mais expressiva sobre as edificações, configurando uma área de risco evidente tanto em função da erosão costeira que gera taxas elevadas de recuo da linha de costa, e também em função do soterramento das construções e infra-estrutura urbana. Próximo à Grussaí, o setor 3 é caracterizado pelas cristas de dunas frontais que avançam em direção ao mar, associada à progradação da linha de costa. Esta

representação de setores pode ser morfologicamente identificada corroborando a representação tridimensional das dunas demonstrada na figura 3.

Em função da ocorrência de uma área que sofre erosão costeira tão próxima à desembocadura fluvial, esse modelo da interação praia-duna do delta do rio Paraíba do Sul difere do modelo do Psuty (1992, 2004), onde as cristas de dunas frontais estariam mais próximas à foz devido ao balanço sedimentar positivo da praia; e as dunas com cortes eólicos estariam nas áreas mais afastadas da foz, devido a um provável balanço sedimentar negativo na praia. Contudo, o modelo do presente trabalho corrobora a importância da componente do transporte longitudinal na configuração da interação praia-duna em áreas com aporte fluvial, conforme apontado pelo autor.

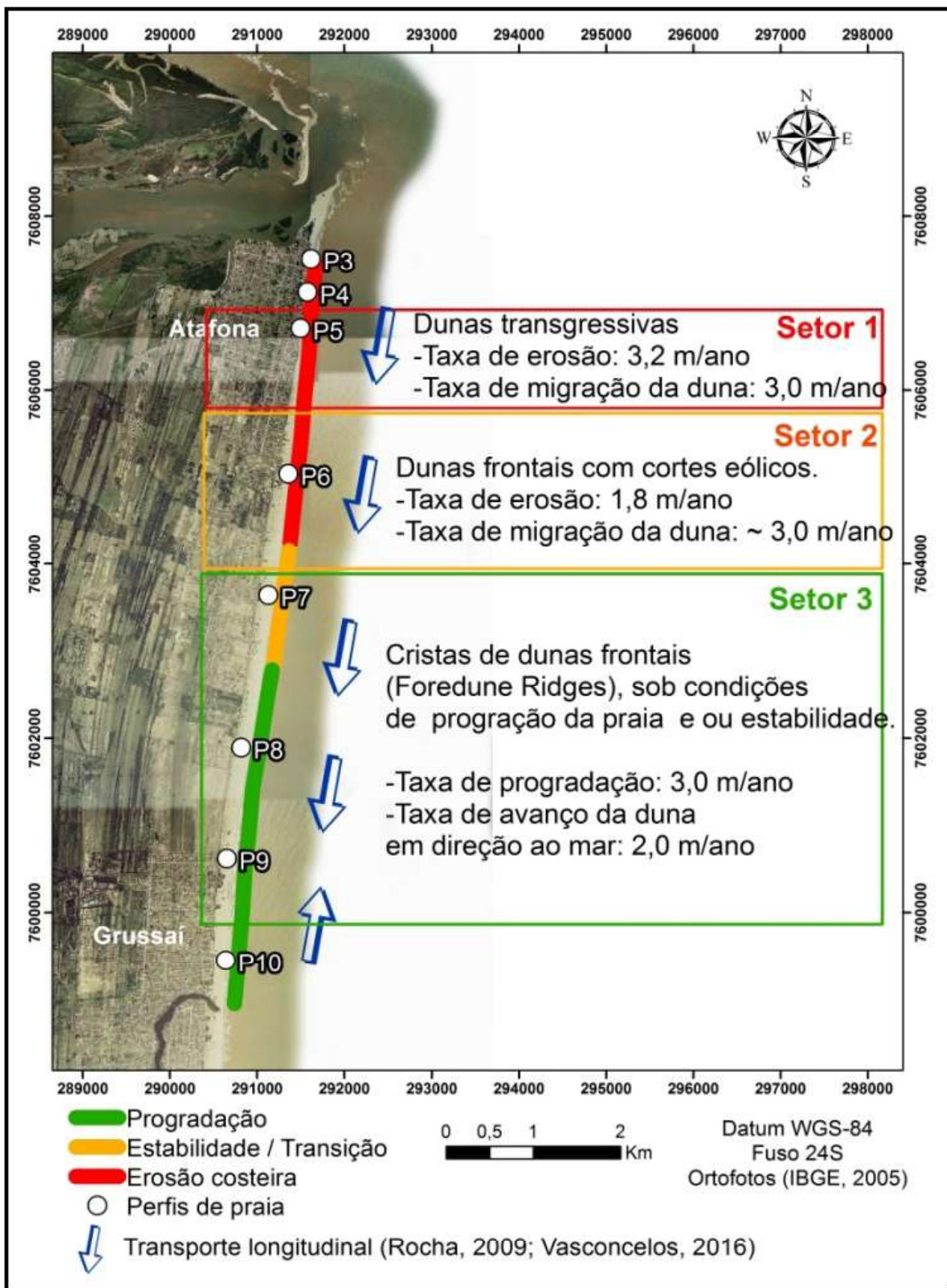


Figura 10 - Modelo síntese da interação praia-duna no delta do rio Paraíba do Sul.

5. Considerações Finais

A interação entre os ambientes de praia e duna frontal no delta do rio Paraíba do Sul reflete mais sobre os distintos comportamentos de linha de costa, evidenciados pela progradação e a erosão costeira, do que essencialmente sobre a morfodinâmica de praia, uma vez que toda a área investigada é predominantemente composta por praias intermediárias, apresentando pouca heterogeneidade em relação às características granulométricas dos sedimentos.

Nesse sentido, as diferenças morfológicas das dunas frontais observadas entre Atafona, onde as dunas possuem altura superior à 8,0 metros, menor largura, cortes eólicos e migração em direção ao continente; e entre Grussaí, onde as dunas possuem até 4,0 metros de altura e avançam em direção à praia, estão relacionadas respectivamente ao comportamento erosivo e ao comportamento de progradação. Inclusive, as taxas de migração das dunas frontais tendem a acompanhar as taxas de erosão ou progradação da praia.

A ocorrência de diferentes comportamentos de linha de costa e das diferenças morfológicas das dunas frontais numa área espacial de menos 10 km, abre uma interessante perspectiva de prever possíveis cenários em relação às perspectivas de mudanças climáticas e aumento no nível do mar, a partir de monitoramentos de longo-prazo. Por outro lado, também abre a possibilidade de buscar e compreender os registros da construção do delta do rio Paraíba do Sul durante o Quaternário, considerando os pretéritos eventos erosivos expostos na forma de truncamentos entre as cristas de praia da planície.

Referências Bibliográficas

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; SOUZA, M. C. A critical review of mid- to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary Science Reviews*, n.25, p.486–506, 2006.

AZEVEDO, M. V. H. **Atafona, Patrimônio Mar Adentro: Formação, Planejamento e Destruição do Balneário de Atafona - RJ**. 2004. 107 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Regional e Gestão de Cidades), Universidade Cândido Mendes.

BAPTISTA, P.; BASTOS, L.; CUNHA, T.; BERNARDES, C.; DIAS, J. A. Aplicação de metodologias de monitorização GPS

em litorais arenosos: Geração de modelos de elevação do terreno. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, n. 8(1), p.9-23, 2008.

BASTOS, A. C. **Análise morfodinâmica e caracterização dos processos erosivos ao longo do litoral norte fluminense, entre Cabiúnas e Atafona**. 1997. 133 p. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha), Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

BOAK, E. H. e TURNER, I.L. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, Vol. 21, No. 4, p. 688-703, 2005.

CARTER, R. K. G.; HESP, P. A.; NORDSTROM, K. F. Erosional Landforms in Coastal dunes. In: NORDSTROM, K. F.; PSUTY, N. P.; CARTER, R. W. G. (Eds). **Coastal Dunes: Form and Process**. p. 217-250, 1990.

CASSAR, J. C. M. e NEVES, C. F. Aplicação das rosas de transporte litorâneo à costa norte fluminense. *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, São Paulo, SP, v. 11, p. 81-106, 1993.

COSTA, G. **Caracterização Histórica, Geomorfológica e Hidráulica do Estuário do Rio Paraíba do Sul**. 1994. 107 p. Dissertação (Mestrado), COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.

DAVIDSON-ARNOTT, R. **An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology**. Cambridge University Press. 2010.

DIAS, G.T.M. O complexo deltáico do Rio Paraíba do Sul. In: **IV Simpósio do Quaternário**. Brasil. Publicação Especial n.2 (CTCQ/SBG). p 58-88, 1981.

DIAS, G.T. M. e GORINI, M. A. A Baixada Campista: Estudo Morfológico dos Ambientes Litorâneos. In: **Anais do XXVI Congresso Brasileiro de Geologia**, Camboriú (SC). p. 588-602, 1980.

DOMINGUEZ, J. M. L. The São Francisco strandplain: a paradigm for wave-dominated deltas? In: DE BAPTIST, M. e JACOBS, P. (Eds.). **Geology of Siliciclastic Shelf Seas**. Geological Society of London, Special Publication 117, p. 217–231, 1996.

DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P. Esquema evolutivo da sedimentação Quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 11(4), p. 227-237, 1981.

FERNANDEZ, G. B; PEREIRA, T. G; ROCHA, T. B. Coastal Dunes along Rio de Janeiro Coast: Evolution and Management.

- Journal of Coastal Research**, SI 56, p. 307-311, 2009.
- FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B.; PEREIRA, T. G. e FIGUEREDO JR, A. G. Morfologia e dinâmica de praia entre Atafona e Grussaí, litoral norte do estado do Rio de Janeiro. *In: VI Simpósio Nacional de Geomorfologia*. Anais em CD-ROM. Goiânia. 2006.
- FERNANDEZ, G. B.; ROCHA, T. B.; PEREIRA, T. G. VASCONCELOS, S. C. Modelo Morfológico da Origem e Evolução das Dunas na Foz do Rio Paraíba do Sul, RJ. *In: VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia*, Belo Horizonte, 2008.
- FRENCH, J.R. e BURNINGHAM, H. Coastal Geomorphology: trends and challenges. **Progress in Physical Geography**, 33(1), p. 117-129, 2009.
- HESP, P. A. Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. **Geomorphology**, v.48, p. 245 – 268, 2002.
- HESP, P. A. Conceptual models of the evolution of transgressive dune field systems. **Geomorphology**, v.199, p. 138–149, 2013.
- HESP, P. A.; DILLENBURG, S. R.; BARBOZA, E. G.; TOMAZELLI, L. J.; AYUP-ZOUAIN, R. N.; ESTEVES, L. S.; GRUBER, N. S.; TOLDO Jr, E. E.; TABAJARA, L. L. C; CLEROT, L. C. P. Beach ridges, foredunes or transgressive dunefields? Definitions and an examination of the Torres to Tramandaí barrier system, Southern Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 77 (3), p. 493-508, 2005.
- HESP, P. A. e WALKER, I. J. Coastal Dunes. *In: JOHN F. S (Ed.). Treatise on Geomorphology*. San Diego: Academic Press, p. 328-355, 2013.
- MACHADO, K. M. **Dinâmica Sedimentar na Planície do Paraíba do Sul – RJ**. 2009. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha). Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ).
- MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M. **Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo**. CPRM Serviço Geológico do Brasil. 1997, 112p.
- MARTÍNEZ, M. L.; PSUTY, N. P.; LUBKE, R. A. A Perspective on Coastal Dunes. *In: MARTÍNEZ, M. L. e PSUTY, N. P. (Eds.). Coastal Dunes: Ecology and Conservation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p 3-10, 2004.
- MCLAREN P. An interpretation of trends in grain size measures. **Journal of Sedimentary Petrology**, n. 51(2), p. 611- 624, 1981.
- MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. *In: CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. (Eds). Geomorfologia - Exercícios, Técnicas e Aplicação*, Editora Bertrand Brasil S.A. Rio de Janeiro, p. 191-238, 2003.
- MUEHE, D. Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. **Revista Brasileira de Oceanografia**, n.46(2), 1998.
- MUEHE, D. e KLUMB-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa *versus* mobilidade praias. **Quaternary and Environmental Geosciences**, n. 05(2), p.121-124, 2014.
- MUEHE, D., ROSO, R.H. e SAVI, D. C. Avaliação do Nível do Mar como Datum Vertical para Amarração de Perfis de Praia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Ano 4, n.1, p 53-57, 2003.
- PINHO, U. F. **Caracterização do estado do mar na Bacia de Campos**. 2003. 145 p. Dissertação (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ).
- PSUTY, N. P. Sediment budget and dune/beach interaction. **Journal of Coastal Research Special Issue**, n. 3, p. 1–4, 1988.
- PSUTY, N. P. Spatial variation in coastal foredune development. *In: CARTER, R. W. G., CURTIS; T. G .F.; SHEEHY-SKEFFINGTON, M. J. (Eds.). Coastal Dunes: Geomorphology, Ecology, and Management for Conservation*. Balkema, Rotterdam, p. 3 –13,1992.
- PSUTY, N. P. The Coastal Foredune: A Morphological Basis for Regional Coastal Dune Development. *In: MARTÍNEZ, M. L. and PSUTY, N. P. (Eds.). Coastal Dunes: Ecology and Conservation*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 11-28, 2004.
- RIBEIRO, G. P; PEREIRA, C. Q.; SILVA, A. E.; CASTRO, J. W. A. Análise da configuração espacial e dinâmica das dunas de Atafona, São João da Barra (RJ). *In: Anais do Congresso Nacional da ABEQUA*. 2007.
- ROCHA T. B. **Morfodinâmica costeira e gestão de orla marítima em costa sob influência fluvial: delta do Rio Paraíba do Sul**. 2009. 141 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ.
- ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G. B.; NASCIMENTO, L. C. Avaliação dos critérios morfodinâmicos para a fase de diagnóstico do Projeto Orla: um estudo de caso em praias arenosas com desembocaduras fluviais. **Revista Sociedade & Natureza**, 25 (2), p. 333-348, 2013.
- SANTOS, R. A. **Processos de Erosão e Progradação entre as praias de Atafona e Grussaí - RJ**. 2006. 36 p. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal Fluminense

– UFF. Niterói, RJ.

SOUZA, R. D. **Propagação de ondas para águas rasas no litoral norte fluminense**. 2011. 156 p. *Dissertação* (Mestrado em Geofísica e Geologia Marinha) Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ.

SHORT, A. D. e HESP, P. A. Wave, beach and dune interactions in southeast Australia. *Marine Geology*. v.48, p. 259–284, 1982.

SHERMAN, D.J. e BAUER, O.B. Dynamics of beach-dune systems. *Progress in Physical Geography*. v.17, p. 413–447, 1993.

SILVA, C. G. **Estudo da evolução geológica e geomorfológica da região da Lagoa Feia, RJ**. 1987. 116 p. *Dissertação* (Mestrado em Geologia). Instituto Geociências, Universidade

Federal do Rio de Janeiro, RJ.

TAMURA, T. Beach ridges and prograded beach deposits as palaeoenvironment records. *Earth-Science Reviews*, n.114, p. 279-297, 2012.

UFRRJ. Precipitação pluviométrica. Disponível em <http://campuseg.ufrj.br/precipitacao-pluviometrica/>. Acesso em 25/02/17.

VASCONCELOS, S. C.; ROCHA, T. B.; PEREIRA, T. G.; ALVES, R. A.; FERNANDEZ, G. B. Gênese e morfodinâmica das barreiras arenosas no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira Geomorfologia*, v.17, n.3, p. 481-498, 2016.