

Morfodinâmica e sedimentologia da planície de marés do Rio Barra Nova, Ceará

Morphodynamics and sedimentology of the tidal plain of Barra Nova River, Ceará State, Brazil

Narjara Maria Araújo Carneiro¹ , Robert de Lima Muniz² ,
Rayron Maia Rodrigues¹ , Daniel Rodrigues do Nascimento Junior¹ 

¹Universidade Federal do Ceará, Avenida Mister Hull, s/n, Pici, CEP: 60455-760, Fortaleza, CE, BR
(narjaramaria@gmail.com; rayronmaia@hotmail.com; daniel.rodrigues@ufc.br)

²Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, BR (robert.muniz.geo@gmail.com)

Recebido em 28 de fevereiro de 2023; aceito em 3 de agosto de 2023.

Resumo

O Rio Barra Nova é uma drenagem de pequeno porte que desemboca na zona costeira de Caucaia (CE), local onde se alarga em uma planície de marés conhecida como “Lagoa” da Barra Nova. Trata-se de um sistema muito dinâmico, reconhecido pela frequente mudança em tamanho e posição de suas feições sedimentares, mas também por seu uso turístico como área de lazer e prática de esportes aquáticos. É, portanto, área de interesse dos pontos de vista científico e ambiental, sendo este último aspecto relacionado à necessidade de uso sustentável por frequentadores e turistas. Nesse âmbito, propôs-se aqui a análise da variação de suas feições de relevo por meio do exame de imagens de satélite e fotografias aéreas, levantamento das feições topográficas no campo sobre a barreira, estudo textural dos componentes terrígenos e bioclásticos e teor de carbono orgânico. Os resultados de sensoriamento remoto mostraram mudanças intensas nas feições emersas e imersas nos últimos 15 anos, destacando grande variação na largura da barreira, intervalos de fechamento do canal de maré principal, formação e emersão de bancos arenosos na forma de ilhotas e elevado dinamismo de canais de maré secundários imersos. Já os perfis topográficos na barreira destacaram grande quantidade de cascalho associado às ressacas, indícios de fechamento artificial da planície de marés, redução no volume de areia e formação de feições eólicas incipientes. Em suma, os resultados reforçam que o transporte seja dominado pelas marés enchentes, mas também que a dinâmica interna da planície é afetada tanto por ressacas como por intervenções artificiais no canal de marés principal com intuito de aproveitamento da região para o lazer e turismo.

Palavras-chave: Padrões de transporte; Barreira; Desembocadura de maré; Erosão.

Abstract

The Barra Nova river is a small drainage flowing seawards the coast of Caucaia (CE), where it widens into a tidal plain known as “Lagoa” da Barra Nova. It is a very dynamic system, recognized for the frequent change in size and position of its sedimentary features, but also for its touristic use as a leisure area and practice of water sports. It is, therefore, an area of interest from both a scientific and an environmental point of view, with the latter aspect being related to the need for sustainable use by regulars and tourists. In this context, it was proposed here to analyze the variation of its relief features through the examination of satellite images and aerial photographs, survey of topographic features in the field over the barrier, textural study of terrigenous and bioclastic components, and organic carbon content. The remote sensing evidenced intense changes in the emerged and immersed features over the last 15 years, highlighting the great variation in the width of the barrier, closure intervals of the inlet, formation and emergence of sandy bars as islets, and high dynamism of the immersed tidal creeks. The topographic profiles on the barrier highlighted a large amount of gravel associated with storm waves, evidence of artificial closure of the tidal plain, reduction in the volume of sand, and the formation of incipient eolian features. In short, the results reinforce that the transport is locally dominated by flood tides, but also that the internal dynamics of the tidal plain is affected both by storm surges and by artificial interventions in the inlet aiming the touristic use of the region.

Keywords: Transport patterns; Barrier; Inlet; Erosion.

INTRODUÇÃO

Drenagens costeiras de pequeno porte, com saída para o mar e variável influência de marés são comuns por toda a costa brasileira e recebem diferentes designações, como sangradouros ou arroios, na Região Sul, e maceiós, na Região Nordeste (Giannini, 1993; Lima et al., 2000). Podem associar-se a estuários, lagunas, baías e mesmo a outras drenagens de características semelhantes, por vezes em sistemas de planícies de marés (Suguio, 1980). Canais desse tipo ainda podem ter considerável influência no aporte e/ou bloqueio de sedimentos na zona costeira (Nascimento Jr., 2006). Esse tipo de sistema tem sua importância elevada como fonte potencial de recursos hídricos nas regiões onde o clima é escasso em precipitação (Lima et al., 2000).

Esse é o caso do Rio Barra Nova, que desemboca na zona costeira de Caucaia (CE). Ele pertence ao conjunto de drenagens das chamadas Bacias Hidrográficas Metropolitanas do Estado do Ceará (Figura 1), cuja área coberta é estimada em 151.085 km², e onde se destacam os rios Ceará, Cocó e Pacoti (Lima et al., 2000). Seu trecho final, adjacente à desembocadura, alarga-se em uma pequena planície de marés triangular conhecida como “Lagoa” ou “Lagamar” da Barra Nova ou da Tabuba, de área aproximada de 87.500 m², onde constitui limite entre as praias de Icarai (leste) e Tabuba (oeste) (Governo Municipal de Caucaia, 2015). Esse alargamento

se desfaz na desembocadura, com estreitamento relacionado a um trecho de barreira ou esporão de areia alongado, de cerca de 500 m de comprimento por 100 m de largura, e que a separa do mar aberto. Por ser alongada com estreitamento no sentido do continente, a planície de marés do Rio Barra Nova poderia corresponder a um pequeno estuário parcialmente fechado pela barreira, com sua típica forma de “funil” (Reinson, 1992; Boyd et al., 2006) esculpida sobre depósitos da Formação Barreiras.

Um rápido exame por fotografias aéreas e imagens de satélite da planície de marés do Rio Barra Nova permite observar que sua desembocadura é extremamente dinâmica, com breves períodos de fechamento da barreira alternados por períodos mais longos (anos) de migração longitudinal de sua foz (Figura 2). Outras mudanças de destaque incluem surgimento e desaparecimento de ilhotas, embaiamentos e variações nas larguras da desembocadura de maré (*inlet*) e de sua barreira arenosa associada. Um estudo mais preciso sobre esses aspectos e também sobre o saldo entre áreas perdidas por erosão vs. acrescidas por deposição poderia fornecer indícios de uma possível ciclicidade natural nesses fenômenos e de até onde impactos antrópicos afetam a dinâmica observada. Somado a análises texturais, o estudo dessa dinâmica ainda requer informações acerca da distribuição de correntes de marés, sua relação com mudanças de forma na barreira e com a ação de correntes fluviais e

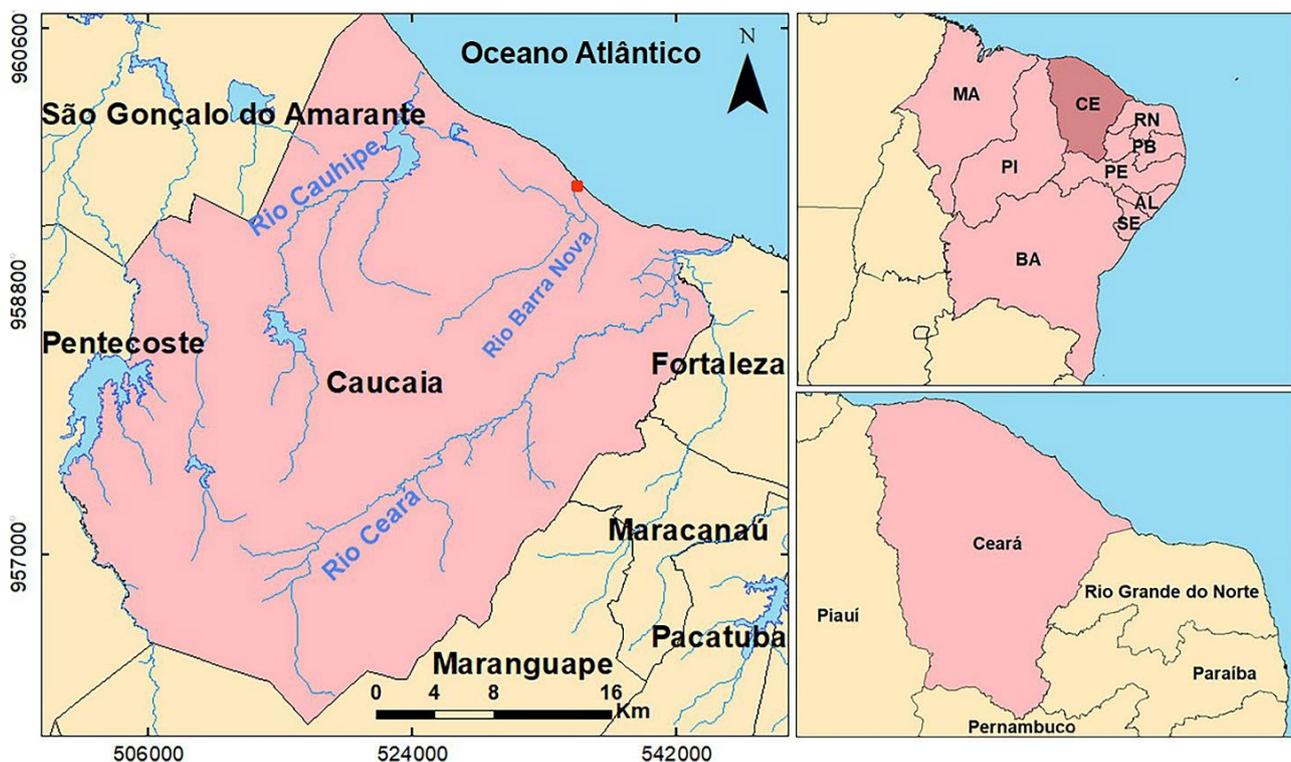


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo no município de Caucaia (CE) e seus principais conjuntos de drenagens.

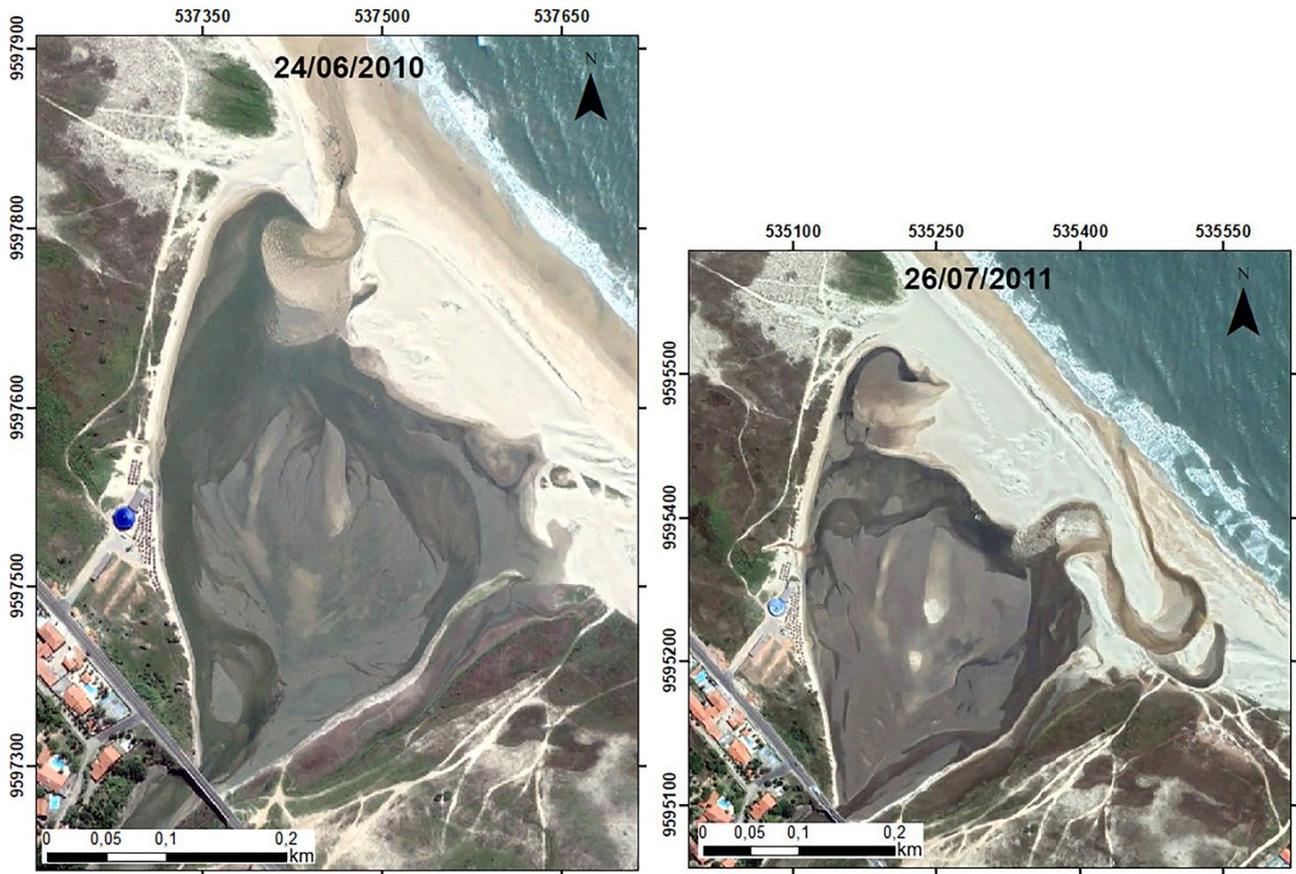


Figura 2. Imagens Ikonos (Google Earth™) da planície de marés do Rio Barra Nova.

empilhamento de ondas mais fortes (sobrelavagem) sobre a barreira.

Tanto a região da planície de marés do Rio Barra Nova como a barreira arenosa que ele atravessa têm sido intensamente aproveitados para lazer, com destaque para banhistas, bugueiros e kitesurfistas. Isso tem movimentado uma importante atividade econômica no local, mas também demanda cuidados relacionados aos possíveis impactos ambientais decorrentes. Lima et al. (2000) chamam atenção para outros processos comuns de impacto antrópico nas “lagoas” próximas a áreas urbanas da capital, como despejo de esgoto e ocupação irregular de suas margens. Ademais, são conhecidos os problemas de erosão nas praias a leste do Rio Barra Nova (Icaraí), tendo sido estudados desde a década de 1970 por pesquisadores da Universidade Federal do Ceará (UFC), e com participação de outros órgãos como o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) (Fernandes, 2005). Ali, há suspeitas de que as causas sejam antrópicas, relacionadas à construção de molhes artificiais de pedra (espigões) na orla urbana de Fortaleza, a barlar da corrente de deriva litorânea regional.

Pelas razões expostas, o estudo da dinâmica na região da planície de marés do Rio Barra Nova tem como objetivo

auxiliar no planejamento de sua manutenção sustentável como área de turismo recreativo e de aventura, assim como na compreensão de fenômenos de erosão recentes ocorrentes na região próxima das praias de Icaraí. Portanto, o trabalho concentra-se na interpretação dessa dinâmica sedimentar em um período recente de anos a décadas, incluindo mudanças morfoodinâmicas e padrões de transporte ante os fatores climáticos e/ou antrópicos atuantes no intervalo de tempo considerado, não apenas na planície de marés em si como também na barreira arenosa adjacente no lado oceânico.

GEOLOGIA, FIOGRAFIA E URBANIZAÇÃO NA REGIÃO METROPOLITANA DE FORTALEZA

Geologicamente, a região metropolitana de Fortaleza (RMF) encontra-se ao norte da Província Borborema, mais especificamente na Faixa de Dobramentos Jaguaribenha, de idade brasileira (Almeida et al., 1977; Santos e Brito Neves, 1984). No entanto, sua aparição na zona costeira ocorre em pontos muito isolados e baixos, com destaque para as rochas da Ponta do Mucuripe em Fortaleza, formadas de quartzitos

pré-cambrianos recobertos por lateritas, ambos resistentes à erosão costeira e que se projetam em direção ao mar, onde definem uma inflexão na linha de costa de SE-NW para E-W que segmenta o litoral fortalezense (Fechine, 2007; Carneiro et al., 2022). O substrato de Fortaleza ainda é marcado por arenitos e margas cretáceos da Bacia Potiguar, acessados apenas em poços e obras de escavação (Werneck et al., 2021), além de rochas vulcânicas cenozoicas da chamada Província Alcalina de Fortaleza (Aquino, 2019), estas acessadas em pontos também muito isolados. Por esses motivos, de acordo com Moreira e Gatto (1981), a geomorfologia local é predominantemente formada por dois domínios sedimentares: o Glacis Pré-litorâneo e a Planície Litorânea, cujos limites sofrem influência das formas de relevo, estruturação geológica e das características do solo e vegetação. O Glacis Pré-litorâneo corresponde aos tabuleiros da Formação Barreiras (Mioceno), composto de rochas areno-argilosas pouco consolidadas e eventualmente arenitos grossos de friabilidade ressaltada ou cascalhos (Morais, 1980; Lima et al., 2000). Na região da Beira Mar de Fortaleza, afloram horizontes laterizados da Formação Barreiras, muito dissecados e formados por cascalho fortemente cimentado em óxi-hidróxidos de ferro (Brandão, 1995). Por fim, a Planície Litorânea é dominada por sedimentos quaternários inconsolidados de areias eólicas e praias, e subordinadamente por areias e lamas estuarinas das drenagens costeiras. Apenas *beach rocks* constituem substrato quaternário consolidado em alguns trechos da orla, na forma de arenitos cimentados em carbonato de cálcio, com ocorrência destacada principalmente nas proximidades de drenagens costeiras. Da zona costeira ao interior (por até 3 km), a Planície Litorânea recobre a maior parte das rochas pré-cambrianas da Faixa de Dobramentos Jaguaribenha, todas as rochas cretáceas da Bacia Potiguar e parte das rochas cenozoicas da Província Alcalina de Fortaleza e do Glacis Pré-litorâneo (Freitas et al., 2019).

Na RMF, o índice pluviométrico médio anual varia de 1.200 a 1.400 mm, sendo marcado por um período de maior intensidade chuvosa, de janeiro a julho, e outro escasso, de agosto a dezembro. As temperaturas médias anuais variam de uma mínima entre 26 e 27°C e máxima entre 31 e 32°C (Santana, 2009). A vegetação natural sobre seu Glacis Pré-litorâneo é dominada pela chamada caatinga litorânea e eventuais manchas de cerrado, ambos arbustivos, com domínio de xerófitas no primeiro caso e de gramíneas no segundo. Eventuais planícies fluviais são dominadas por vegetação arbórea e arbustiva mista, com destaque para os carnaubais. Ao adentrar a influência de marés e água salobra, porém, a vegetação é imediatamente substituída por vegetação halófitas arbóreas de manguezais, ou arbustiva de marismas quando a contribuição de água doce é mínima, e essa característica é compartilhada pelas planícies de maré em geral. Nas faixas de praias e dunas eólicas, por sua vez, a vegetação varia de arbórea e arbustiva mista nas áreas de

restinga mais estáveis (dunas fixas etc.) até arbustiva e rasteira dominada por halófitas e psamófitas nas áreas instáveis e mais próximas ao mar (Lima et al., 2000).

A zona marítima da RMF é marcada pela Corrente Norte Brasileira, que tem origem na bifurcação da Corrente Sul Equatorial no vizinho estado do Rio Grande do Norte (IBGE, 2011), e possui velocidade de 0,51 a 1,03 m/s na costa cearense. Na costa, essa corrente é considerada o principal motor das correntes de deriva litorânea com sentido regional predominante para oeste (MMA, 2006), cuja velocidade média em direção paralela ao continente varia de 0,24 a 0,31 m/s (Maia, 1998). As ondas apresentam forte componente de leste, com rumos de origem variando entre os quadrantes leste-sudeste (principal) e nordeste (subordinado) em estreita relação com os sentidos predominantes dos ventos sazonais (Morais, 1981; MMA, 2006). A altura significativa média de ondas é de 0,98 m com período geralmente inferior a 10 s (Jesus, 2014). As marés, por sua vez, são tipicamente em regime de mesomaré com amplitudes médias da sizígia entre 2,01 e 3,00 m (IBGE, 2011) e máximas da quadratura à sizígia entre 0,75 e 3,20 m (Maia, 1998) com referência aos meses de junho a dezembro.

A RMF é a região mais densamente habitada e, consequentemente, a mais urbanizada no estado do Ceará (IBGE, 2015). Reflexo dessas características, o litoral da RMF encontra-se totalmente ocupado por estradas pavimentadas, calçadas e habitações e que aumentam rumo à região da Beira Mar de Fortaleza, incluindo-se aí sua verticalização e a presença de obras marítimas como muros, enrocaduras, espigões (molhes), pontes, marinas e portos, que recortam mais densamente a zona litorânea desde a década de 1970 (Lima et al., 2000).

MATERIAL E MÉTODOS

A execução do trabalho foi dividida em processos de escritório, campo e laboratório (Figura 3).

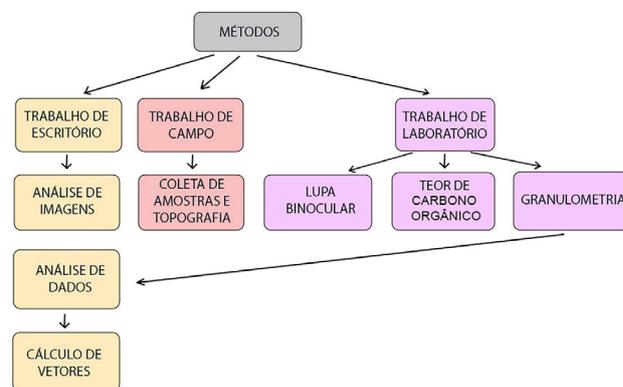


Figura 3. Fluxograma da metodologia aplicada.

Análise de imagens para sensoriamento remoto

Visando à análise da morfodinâmica do Rio Barra Nova, desenvolveu-se uma série temporal da morfologia da planície de marés e da barreira arenosa adjacente, tendo como base a vetorização das imagens de satélite Landsat e Copernicus da região da desembocadura do Rio Barra Nova para um intervalo de aproximadamente 15 anos. Os arquivos foram obtidos com base no Google Earth e tiveram suas feições interpretadas no programa ArcGIS 10.1. Com isso, foram avaliadas as mudanças e medidas de largura na desembocadura e na barreira. Essas medidas foram obtidas na abertura mais larga da desembocadura em cada momento de medição, por uma média de três transectos transversais igualmente espaçados na extensão da barreira e por um transecto longitudinal (Figura 4). Foi feita também uma análise das feições submersas e eventualmente emersas da planície de maré a partir da observação de imagens *raster*. O reconhecimento das feições seguiu compêndios de interpretação de planícies de marés dos trabalhos de Dalrymple (1992) e Boyd et al. (2006).

Atividades de campo

As atividades de campo foram feitas durante as marés baixas de sizígia, com consulta prévia de tábuas de marés, em três etapas (Etapa I: 08/03/2016; Etapa II: 15/03/2018; Etapa III: 27/09/2018). Na Etapa I, foram coletadas cerca de 300 g de areias superficiais em diferentes pontos da planície de marés, em espaços mais ou menos regulares, georreferenciados no instante de coleta por meio de um GPS (Figura 4).

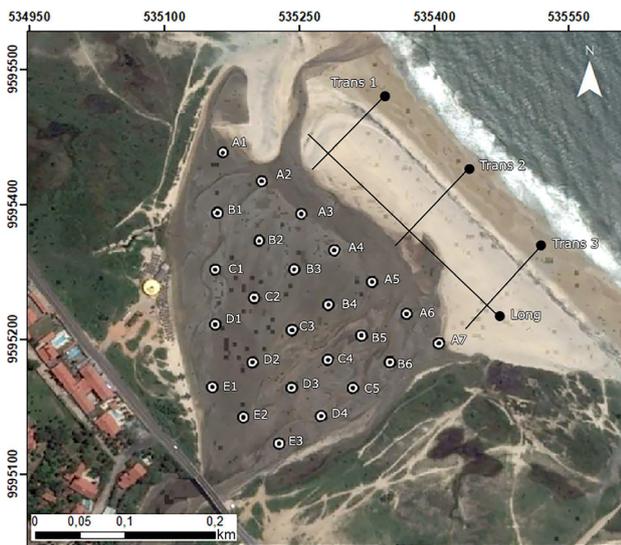


Figura 4. Pontos de coleta das amostras na planície de marés do Rio Barra Nova e perfis transversais e longitudinal feitos durante nivelamento topográfico.

Posteriormente, as amostras foram divididas em alíquotas de acordo com a massa exigida para cada ensaio laboratorial. As amostras coletadas em cada ponto foram armazenadas em sacos plásticos e levadas para análise no Laboratório de Geotécnica (LAGETEC) da UFC.

Nas etapas seguintes, as morfologias da barreira arenosa que separa a planície de marés do mar aberto e sua variação entre os semestres foram analisadas por meio do nivelamento geométrico com auxílio de um nível óptico, tripé e mira de alumínio com três visadas transversais e uma longitudinal seguindo os mesmos transectos mencionados anteriormente para se obter as cotas de nível desde o espraiamento até a laguna e por toda sua extensão. Esse levantamento foi realizado em condições de tempo bom (*fair weather*) e após ressaca da maré, a fim de elaborar perfis topográficos comparativos dos dois períodos e caracterizar a topografia atual da barreira.

Estudo de grãos à lupa binocular

Para este estudo, foi usada uma alíquota bruta de aproximadamente 10 g da fração arenosa elutriada seca e não peneirada de cada amostra. Bioclastos (fragmentos de conchas de moluscos e outros animais marinhos) e minerais associados foram identificados e analisados semiquantitativamente para comparação entre os diferentes locais de coleta. Fotomicrografias com escala foram tomadas e identificadas durante o estudo das amostras.

Teor bruto de carbono orgânico

O teor bruto de carbono orgânico nos sedimentos foi calculado por meio de ataque por peróxido de hidrogênio (H_2O_2) 30 volumes a quente ($60^\circ C$), em béquer disposto sobre chapa aquecedora, segundo método descrito por Grant-Gross (1971). Neste ensaio, calcula-se o teor de carbono orgânico a partir da diferença entre as massas inicial e final, obtida após o ataque por H_2O_2 . A massa inicial adotada para a realização deste ensaio foi de cerca de 10 g de amostra seca bruta.

Granulometria da fração lamosa

As amostras, em massas iniciais de cerca de 60 g (equivalente seco), foram submetidas à pipetagem em cinco intervalos de 1Φ entre silte grosso e argila (Suguio, 1973). Optou-se pela não secagem prévia das amostras, cujo controle do peso inicial foi feito indiretamente, pela secagem de uma alíquota separada (120 g, admitida uma umidade média de 50%) em estufa ($60^\circ C$ por 24 h), a fim de evitar a aglutinação de partículas argilosas coloidais da amostra a ser pipetada (Giannini, 1987, 1993). Depois de secas, as alíquotas separadas foram pesadas novamente para controle de umidade inicial das amostras a serem pipetadas.

As amostras pipetadas foram previamente dispersas em recipiente com misturador mecânico e introduzidas logo após seu uso em provetas de 1 L com água destilada, acrescida de dispersante (pirofosfato de sódio tri-hidratado) para evitar floculação. A pipetagem deu-se a intervalos de tempo pré-determinados, baseados na lei de Stokes para decantação de partículas. Massas pipetadas iguais de líquido + partículas foram depositadas em recipientes de massa conhecida que, por sua vez, foram postos a secar por mais 24 h a 60°C em estufa. A pesagem final dos recipientes deu-se após essa última etapa de secagem, com a qual se obteve a massa de cada fração granulométrica. A granulometria da fração lamosa foi realizada com apoio do Laboratório de Geologia Marinha da UFC.

Granulometria da fração arenosa

O resíduo restante da análise granulométrica da fração lamosa no fundo das provetas foi usado para análise granulométrica da fração arenosa. Antes, esse resíduo foi elutriado em sistema de torrente aquosa em pia de laboratório, para eliminação de sais e de lama residual, e então secado em estufa (100°C por 24 h).

De cada amostra seca, 60 a 80 g foram submetidos a peneiramento em intervalos de 1 Φ sobre agitador mecânico por 10 minutos (Sugiuo, 1973). Outra parte da alíquota elutriada seca (20 a 40 g) foi destinada para estudo em lupa binocular (vide próximo tópico). As amostras retidas em cada intervalo de tamanho das peneiras foram pesadas em balança analítica de precisão (quatro casas decimais do grama) e separadas para arquivo.

ANÁLISE DE DADOS

Cálculo de vetores de tendência de transporte sedimentar

Com base nos resultados de distribuição granulométrica de frequência em massa, foram obtidos, para cada amostra, parâmetros estatísticos dos três primeiros momentos de Pearson (diâmetro médio, desvio padrão, assimetria) por meio da planilha Momento 4.1 (Giannini e Nascimento Jr., 2007 – comunicação pessoal). As variações desses parâmetros aceitas pelo teste estatístico de regressão, avaliadas em conjunto, foram usadas na inferência do sentido geral de transporte sedimentar, pela regra de McLaren e Bowles (1985). Essa regra prevê dois padrões indicadores de sentido de transporte ao longo de um sistema sedimentar:

- i) “mais fino / melhor selecionado / mais negativo” (Caso B);
- ii) “mais grosso / melhor selecionado / mais positivo” (Caso C).

Quando nenhum desses padrões é encontrado, não se pode afirmar com segurança o sentido do transporte sedimentar efetivo. Na análise geral, a correlação entre os dados dos momentos de Pearson foi analisada por gráficos de dispersão das distribuições de frequência granulométrica. Para avaliar os resultados do coeficiente de correlação linear (r), o critério foi o nível de significância ou erro I (α), que corresponde à probabilidade de rejeitar uma hipótese nula (H_0) verdadeira. Como H_0 , neste caso, afirma a inexistência de correlação significativa ($r \approx 0$), α pode ser entendido como a probabilidade de se aceitar correlação inexistente. A estimativa dos valores máximos de α foi feita por interpolação comparando o quociente t do teste de regressão unicaudal de distribuição (t de Student).

Para amostras distribuídas em espaço bidimensional, como no presente estudo, um conceito de rede de vetores de transporte introduzido por Gao e Collins (1992) em complemento à regra de McLaren e Bowles (1985) foi aplicado. Na aplicação, cada ponto amostrado foi comparado individualmente a todos os seus vizinhos, em uma distância escolhida pelo usuário (“distância característica”). Baseado nos preceitos citados, o presente estudo calculou o rumo de transporte pelo programa livre Grain Size Trend Analysis with Significant Test (GSTAST), de Chang et al. (2001). Esse programa usa a regra geral de McLaren e Bowles (1985) com a consideração do conceito de rede de vetores de transporte introduzido por Gao e Collins (1992) e a vantagem de realizar teste de significância aos dados. Nele, o grupo de dados de parâmetros estatísticos (diâmetro médio, desvio padrão, assimetria) de cada ponto ou estação amostrada foi usado para definir vetores em relação a certo número de estações vizinhas (uma estação vizinha de cada vez), desde que aceitos pela regra de McLaren e Bowles (1985). O conceito de “estação vizinha” é subjetivo e implica que o usuário deva escolher uma distância característica (D_{CR}) que defina o alcance dessa vizinhança, e que possa ser aceita como o raio de influência de fatores determinantes do rumo de transporte local. O rumo de cada vetor resultante depende das posições relativas entre estações vizinhas (fornecidas em *Universal Transverse Mercator* — UTM) que possuam padrão de variação aceito pela regra de McLaren e Bowles (1985). A cada vetor de transporte (L) aceito pela regra, que se projeta de determinada estação rumo à estação vizinha, atribui-se um “comprimento” de valor um (1), adimensional. Para estações que possuem mais vetores, L será calculado como vetor resultante e possuirá rumo e valor escalar (diferente de 1) determinado por soma vetorial (Nascimento Jr., 2006).

No passo seguinte do programa, trocam-se os valores originais dos parâmetros de granulometria de cada estação entre si (i.e. estação A fica com os dados da estação C, B com A, e assim por diante), de modo aleatório, num número de vezes em que isso é feito (iterações) a ser definido pelo

usuário. Chang et al. (2001), ao testarem o efeito estatístico do número de iterações, concluíram que, para intervalos de confiança acima de 50%, o número de vetores residuais aceitos pelo teste permanece constante a partir de 100 iterações, número que é então por eles recomendado, ainda que o programa GSTAST permita até 10.000 iterações.

O mesmo procedimento usado para calcular vetores com os dados originais de cada estação é usado para estações com dados trocados, gerados pelas iterações. Em seguida, todos os vetores obtidos (mesmo aqueles calculados com parâmetros de granulometria nas estações originais) são agrupados (por estação) em distribuições de frequência. O passo seguinte, aplicado para toda a distribuição de frequência de vetores, é calcular o valor crítico de vetor comprimento (L_x) a um intervalo de confiança unicaudal pelo teste t de Student, valor definido pelo usuário. Novamente, o valor a ser escolhido é subjetivo, mas Chang et al. (2001) ressaltam que o intervalo de 95% é comumente usado em estudos de testes de significância (neste caso, L_x será denominado L_{95}). Esse valor descreve, no caso, 1 chance em 20 de ocorrer um vetor artificial, “criado” pelo teste.

Por fim, para cada estação amostrada, o vetor comprimento L gerado dos dados originais é comparado com seu valor crítico (L_x) correspondente, obtido da distribuição de frequências dos comprimentos de vetores calculados usando todos os conjuntos de dados. Cada vetor L será aceito quando seu valor adimensional for maior que do seu vetor L_x correspondente. Esse pressuposto parte do seguinte princípio: se os vetores comprimento calculados do conjunto de dados originais são indiscutivelmente o rumo preferido de transporte sedimentar, então eles devem ser estatisticamente distintos dos outros vetores, obtidos das distribuições de frequência de vetores comprimento gerados a partir das iterações (Chang et al., 2001). Também o resultado de L será tanto mais consistente quanto maior for seu valor adimensional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dinâmica das feições da planície de marés e barreira via sensoriamento remoto

Alguns fatos nas feições emersas chamaram a atenção com respeito a mudanças na desembocadura de maré principal (*inlet*) e na barreira (Figura 5). Na desembocadura, houve pouca mudança em sua largura (poucos metros), ao menos um grande intervalo de fechamento (de mais de um ano, Figuras 5E–5G), rápido deslocamento SE-NW (dezenas de metros por ano, por exemplo, Figuras 5H, 5I) e predomínio de orientação linear (meandramento registrado em apenas uma data, Figura 5C). Quanto à barreira, houve muita variação na largura (da ordem de dezenas de metros) e frequente formação e desaparecimento de reentrâncias

(embaixamentos, Figuras 5A–5E e 5G–5I) e de fragmentação (ilhas, Figuras 5C, 5E, 5F, 5H).

Na desembocadura, as características sugerem que seu deslocamento gradual (SE-NW) é controlado pela deriva litorânea geral característica da costa cearense (E-W), reorientada pela linha de costa local (Figuras 5C, 5D, 5H, 5I). Já seu deslocamento abrupto no sentido oposto (NW-SE, Figuras 5B, 5C) poderia ser produto de rompimento por pressão fluvial interna no estuário (sem registro de fechamento prévio) ou sobrelevagem (*washover*) marinha (com indício de fechamento prévio). Neste último caso, porém, a ausência de evidências diretas nas imagens de satélite ou em campo dificulta uma interpretação mais precisa. Ainda assim, essa combinação entre os dois tipos de deslocamento da desembocadura sugere que ciclos graduais de movimento para NW poderiam ser reiniciados a SE por eventos de rompimento abrupto da barreira a barlar da corrente de deriva litorânea local.

Na barreira, o maior dinamismo, marcado por formação de ilhas e embaixamentos especialmente em sua porção interna, seria controlado por frequentes mudanças em canais de maré secundários (*tidal creeks*) nas zonas intermarés e inframarés, principalmente porque as maiores irregularidades ocorrem em momentos de desembocadura aberta. Essa seria a mais clara relação entre as dinâmicas da barreira e da desembocadura, como sugerido também na Figura 6, em que a variação de suas larguras ocorre de modo quase especular, especialmente nos últimos anos. Em 15 anos, a largura média da barreira variou até 90 m (80 a 170 m) e, da desembocadura, até 35 m (0 a 35 m).

Já entre as feições imersas, destacam-se principalmente bancos arenosos, extensões submersas das ilhas e canais submersos entre esses dois tipos de feições; secundariamente, as margens acompanham a morfologia superficial e o deslocamento da barreira, com algumas orientações lineares (principalmente nos intervalos entre 2012 e 2014). A exemplo das feições emersas, também se observa que as feições imersas centrais são mais frequentes e complexas quando a desembocadura está aberta, provavelmente favorecidas de uma maior dinâmica interna por efeito das marés.

A geometria triangular da maioria dos bancos arenosos, combinados ou não, imita a própria geometria do contorno da planície de marés e parece condicionar a manutenção de, ao menos, dois canais de marés submersos em cada momento em suas adjacências. Esse aspecto pode significar um estado de equilíbrio necessário à circulação interna das marés, com canais de fluxo preferencial para a enchente e/ou a vazante.

Perfis topográficos da barreira

Dias antes do primeiro levantamento, ocorreu uma forte ressaca do mar que quase abriu toda a barreira de modo que as ondas quebravam dentro da planície de marés, segundo

relatos de moradores da região. A ressaca aconteceu por fortes chuvas no começo do ano e fez com que a barreira rompesse duas vezes. Consequentemente, havia muito cascalho espalhado, incluindo pedaços de *beach rocks*, e pouca prática de *kitesurf* (Figuras 7A–7C). Na ocasião, a barreira apresentou largura de 114 m e elevação de mais de 6 m em relação ao nível do mar. Possuía também a presença de protodunas de altura decimétrica e de até 3 m de comprimento

na região da berma (Figura 7A). Além disso, nos mesmos perfis, formou-se um lençol eólico plano seguido por um terraço baixo (retobarreira) (Figura 7E). Ao fim do transecto 3, em direção à planície de marés, a falésia adjacente ao transecto 1 já não é interceptada.

Já no segundo levantamento, verificou-se ainda provável efeito erosivo da ressaca do mar, dada a presença de cascalho na superfície como um provável material residual (*lag*)

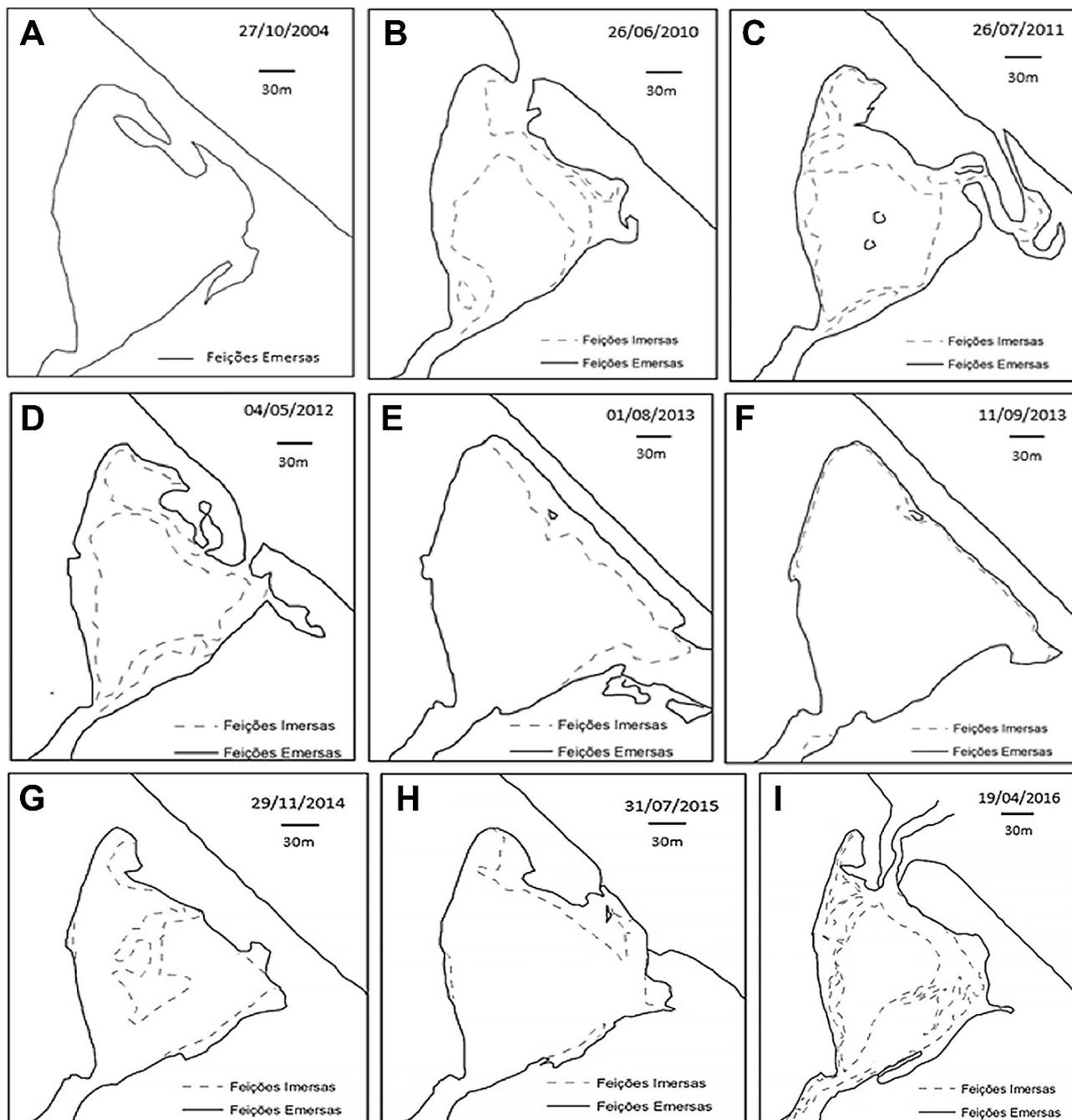


Figura 5. Sequência de imagens vetorizadas das porções emersa e imersa da planície de marés do Rio Barra Nova.

acumulado (Figura 7F). Neste, notou-se um estreitamento da barreira para aproximadamente 90 m de largura (Figura 8), menor elevação (mais de 2 m) e, por consequência, menor volume de areia (Figura 9). Para tanto, o volume de água na planície de marés deve ter aumentado também, com o canal de desembocadura fechado artificialmente quase que por completo, com cerca de 6 m de largura, porém com fluxo bastante reduzido. A berma encontra-se mais bem definida no transecto 1 e também se observa uma distribuição mais concentrada de areia, em relação ao primeiro levantamento.

Nos perfis longitudinais, observa-se melhor a diminuição no volume de areia no segundo semestre, em que

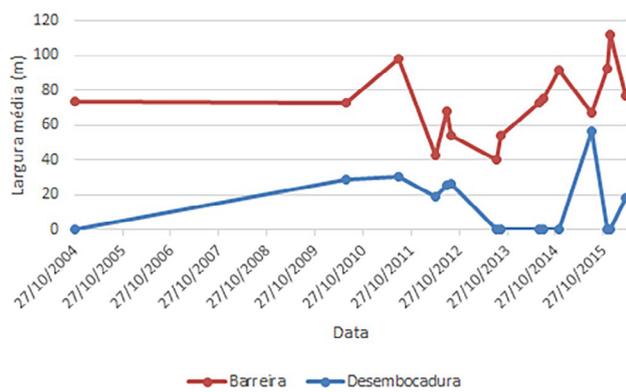


Figura 6. Largura média da barreira e da desembocadura de maré do Rio Barra Nova nos últimos 15 anos. Zero na largura da desembocadura indica períodos de fechamento.

a barreira se encontra em nível mais regular em toda sua extensão, com bermas menos definidas, até chegar à falésia. Na desembocadura, não houve grande abertura em razão de sacos de areia postos para conter o fluxo de saída da água (Figura 7D). Portanto, apenas no primeiro semestre a desembocadura foi capaz de gerar uma margem erosiva, pois havia maior volume de água no canal.

Componentes das areias e teor bruto de carbono orgânico

Os resultados da identificação e contagem à lupa mostraram que os componentes arenosos dos sedimentos da planície de marés são amplamente dominados por quartzo (quase 98%) e minerais opacos indistintos (quase 2%). Desse modo, foi encontrada uma concentração muito baixa de bioclastos associados aos sedimentos (0,32%), estes constituídos principalmente por componentes carbonáticos como miliólídeos (tipo de foraminífero marinho) e ostracodes marinhos (80%), além de bioclastos indefinidos (fragmentos de conchas de moluscos: 6%), outros foraminíferos indefinidos (9%) e algas indiferenciadas (5%) (Figura 10). Exemplos desses componentes são mostrados na Figura 11. Particularmente, o domínio por miliólídeos e ostracodes oceânicos nas areias, em teores semelhantes aos encontrados nas areias praias de Fortaleza (Freitas e Farias, 2015; Silva e Freitas, 2017), sugere predominância da contribuição marinha em relação à fluvial no interior da planície de marés do Rio Barra Nova.



Figura 7. As fotos (A e B) foram tiradas em março de 2018, (C) em março de 2016 e (D, E e F) em setembro de 2018. (A) Cascalhos abundantes dada a ressaca do mar; (B) pedaço de *beach rock* na areia; (C) canal aberto; (D) sacos de areia usados para contenção da barreira; (E) lençol eólico; (F) cascalho.

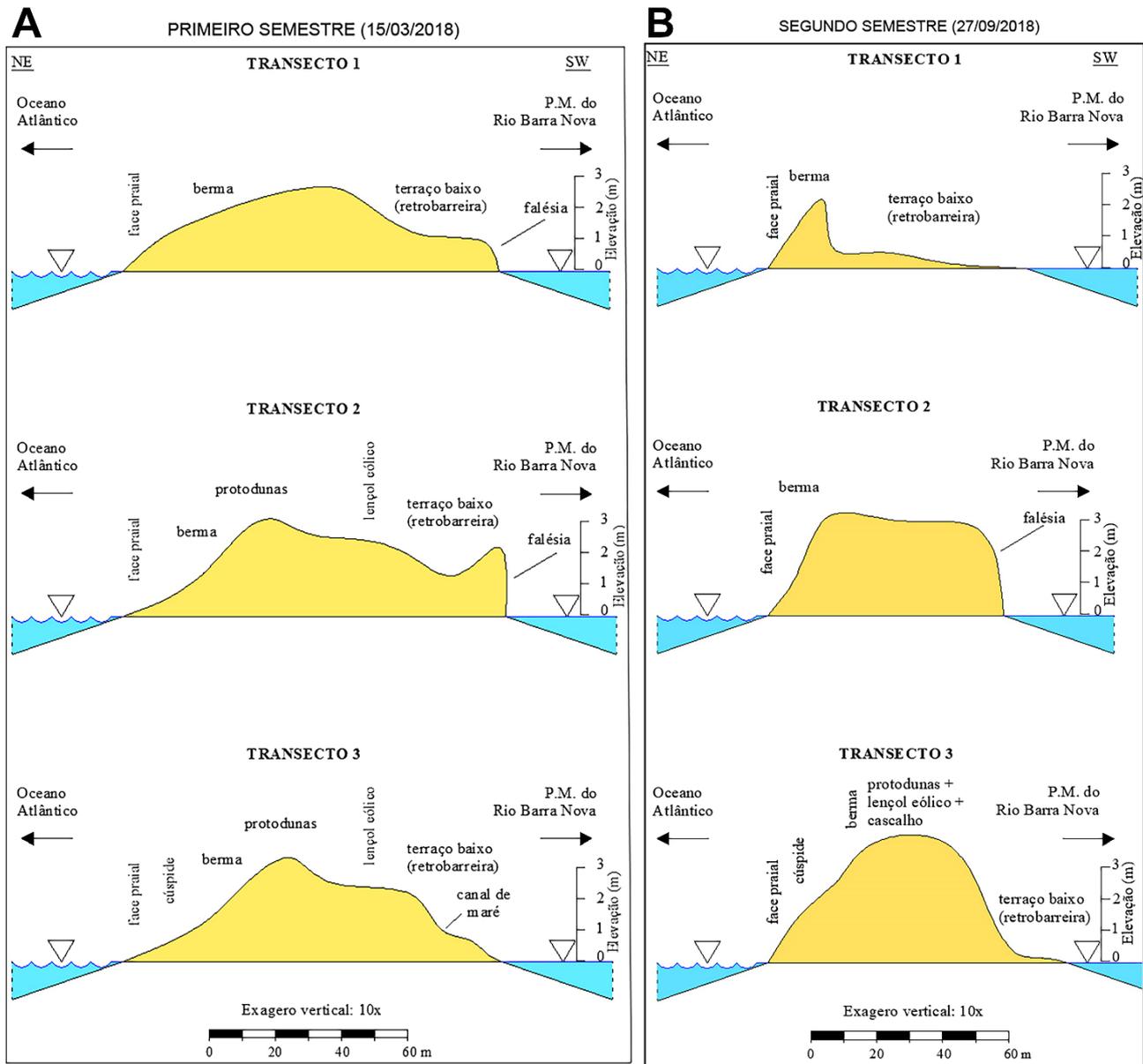


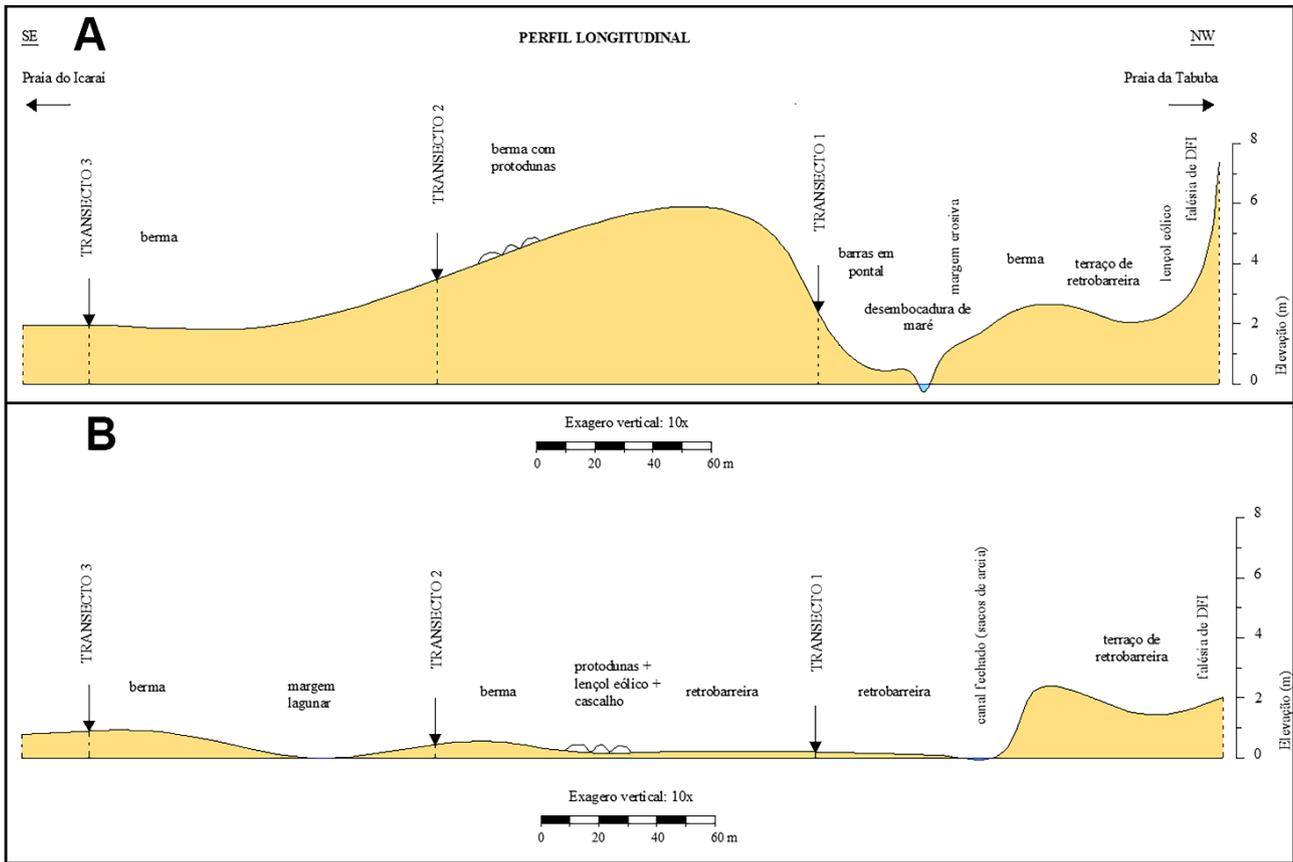
Figura 8. Perfis topográficos das seções transversais à barreira arenosa da planície de marés (P.M.) do Rio Barra Nova (A) no primeiro semestre do ano em e (B) no segundo semestre.

Por sua vez, o resultado para o teor bruto de carbono orgânico rendeu valores também muito baixos, de apenas 0,012% em média, para os sedimentos da planície de marés do Rio Barra Nova. Isso é indicio de que resíduos antrópicos orgânicos lançados nos últimos anos somados a momentos (meses) de fechamento natural e/ou artificial da desembocadura não têm ainda contribuído para valores exacerbados, sugestivos de alguma eutrofização. Quanto à distribuição, como pode ser visto no mapa da Figura 12, observou-se que a matéria orgânica particulada se concentra preferencialmente na metade norte-noroeste (0,017%

em média, contra 0,007% na metade sul-sudoeste), o que sugere que, apesar de pouca, a matéria orgânica tem sido retida junto à barreira, provavelmente por ocasiões de isolamento da planície do mar aberto.

Estatísticas da distribuição granulométrica

Nas amostras coletadas, as estatísticas relacionadas aos três primeiros momentos de Pearson (diâmetro médio, desvio padrão, assimetria — Figura 13) apontaram que os sedimentos da planície de marés são, em geral, formados por



DFI: duna frontal incipiente.

Figura 9. Perfis topográficos das seções longitudinais à barreira arenosa da planície de marés do Rio Barra Nova (A) no primeiro semestre do ano em e (B) no segundo semestre.

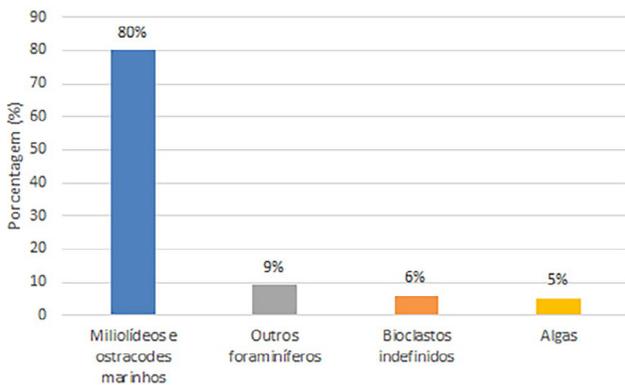


Figura 10. Teores de bioclastos associados aos sedimentos da planície de marés.

areias finas (Wentworth, 1922), moderadamente bem selecionadas e de assimetria negativa a muito negativa (Folk, 1968). Os intervalos de classe areia fina e média abrangem mais de 90% da constituição das areias, com respectivas médias percentuais de 42 e 52%. O resultado geral indica

predomínio de transporte no sentido do mar rumo à planície de marés pelo Caso B de McLaren e Bowles (1985): sedimentos ativamente transportados a sotamar do sistema deposicional, situação mais típica para sistemas costeiros de mar aberto (Pettijohn, 1975). Esse resultado sugere que, apesar de abranger um sistema fluvial com alguma atividade por ocasião das chuvas, a planície de marés do Rio Barra Nova deve ter seu transporte médio prevalecente mais influenciado pelo fluxo da maré enchente (vinda do mar).

O diâmetro médio demonstra a ordem de grandeza das classes de tamanho das partículas. Numa distribuição unimodal, esse parâmetro representa a energia cinética média do agente e/ou processo deposicional, mas é também dependente do intervalo granulométrico disponível para transporte e deposição. Os resultados demonstraram que esse parâmetro apresentou baixo desvio padrão (0,13), indo de aproximadamente 1,96 a 2,50 Φ . O fato denota certa homogeneidade das amostras entre si quanto ao diâmetro médio, com maiores valores nas regiões norte-centro (Figura 13C).

Com o desvio padrão, obtém-se a dispersão em torno da média granulométrica, em que, quanto maior for seu

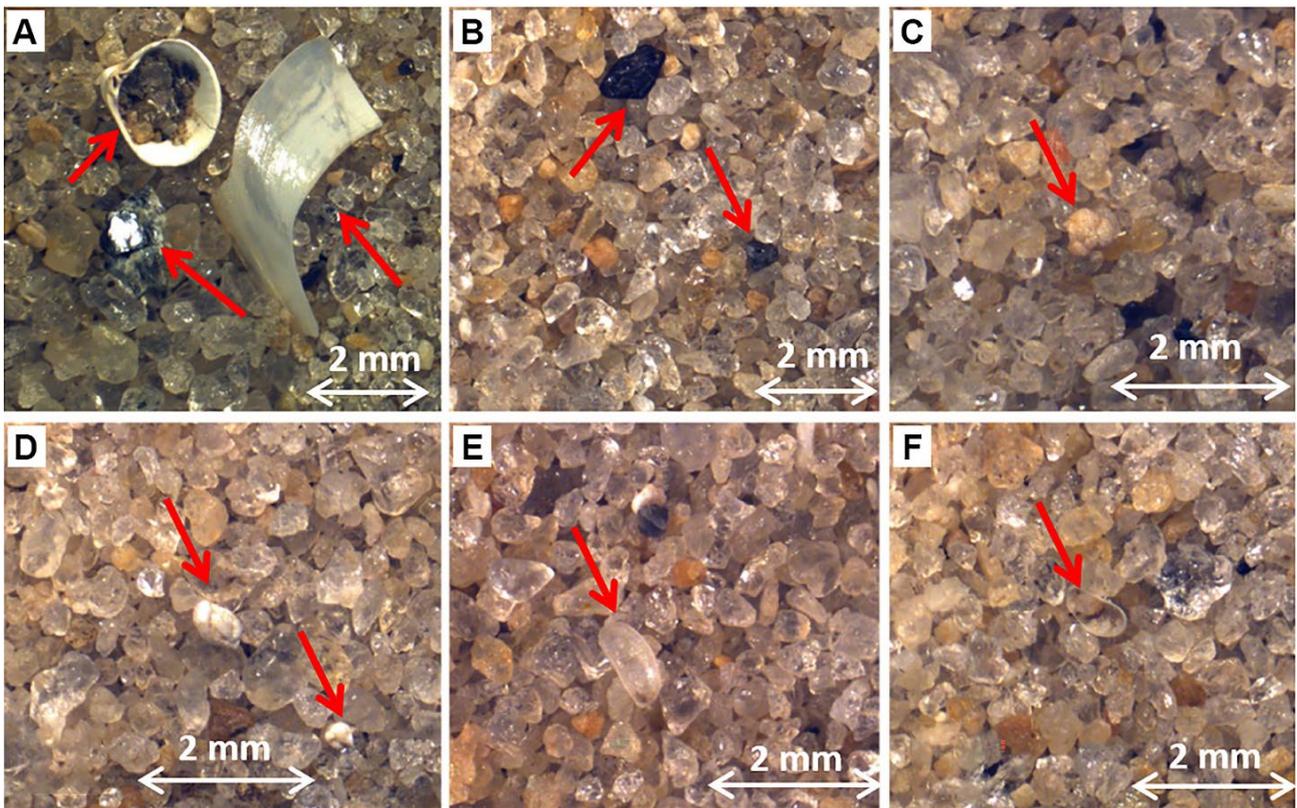


Figura 11. Imagens tiradas pela lupa binocular das amostras de sedimentos. (A) Fragmentos de conchas e mineral opaco; (B) minerais opacos; (C) globigerina; (D) miliolídeos; (E) ostracode hialino e (F) ostracode.

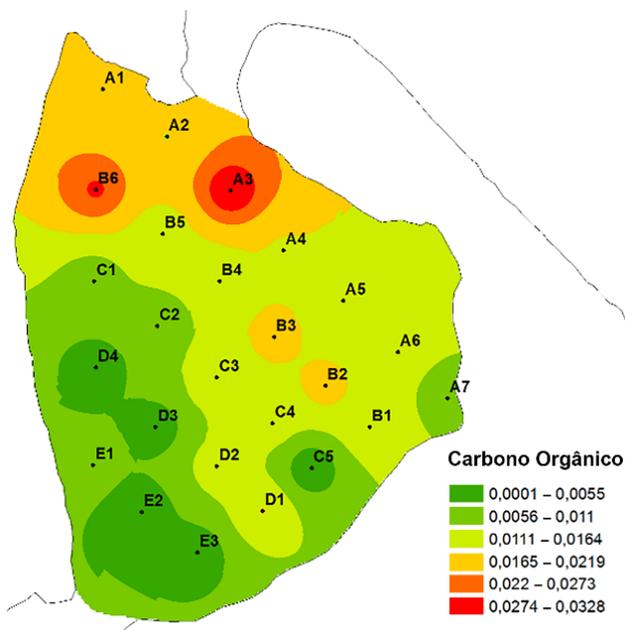


Figura 12. Mapa de interpolação dos valores de porcentagem (%) de carbono orgânico nos sedimentos da planície de marés.

valor, menor será o grau de seleção granulométrica dos sedimentos. Nas populações unimodais, o desvio-padrão relaciona-se diretamente à frequência e à amplitude das variações de energia e também ao aporte sedimentar fornecido pelo agente de transporte e/ou processo deposicional em torno das condições cinéticas médias. As amostras da planície de maré apresentaram grau de seleção moderado em sua totalidade, variando de 0,53 a 0,67 Φ . Esse resultado provavelmente se deve ao fornecimento de areias pouco retrabalhadas pelo Rio Barra Nova por ocasião das chuvas.

Já a assimetria é um parâmetro que descreve se a curva de distribuição de frequências é ou não simétrica e, sendo assimétrica, para qual lado se prolonga sua cauda. Segundo Muehe (1996), em depósitos residuais, bem como na zona de espreamento, as frações mais finas dos sedimentos são removidas pelo refluxo das ondas, sendo por isso comum encontrar distribuições assimétricas negativas em areias de face praial. Aqui, no entanto, não se descarta a possibilidade de que ventos e correntes de maré também contribuam para a remoção das frações mais finas. Para os sedimentos das amostras analisadas, no entanto, as curvas de distribuição granulométrica apresentam assimetria muito negativa (pela

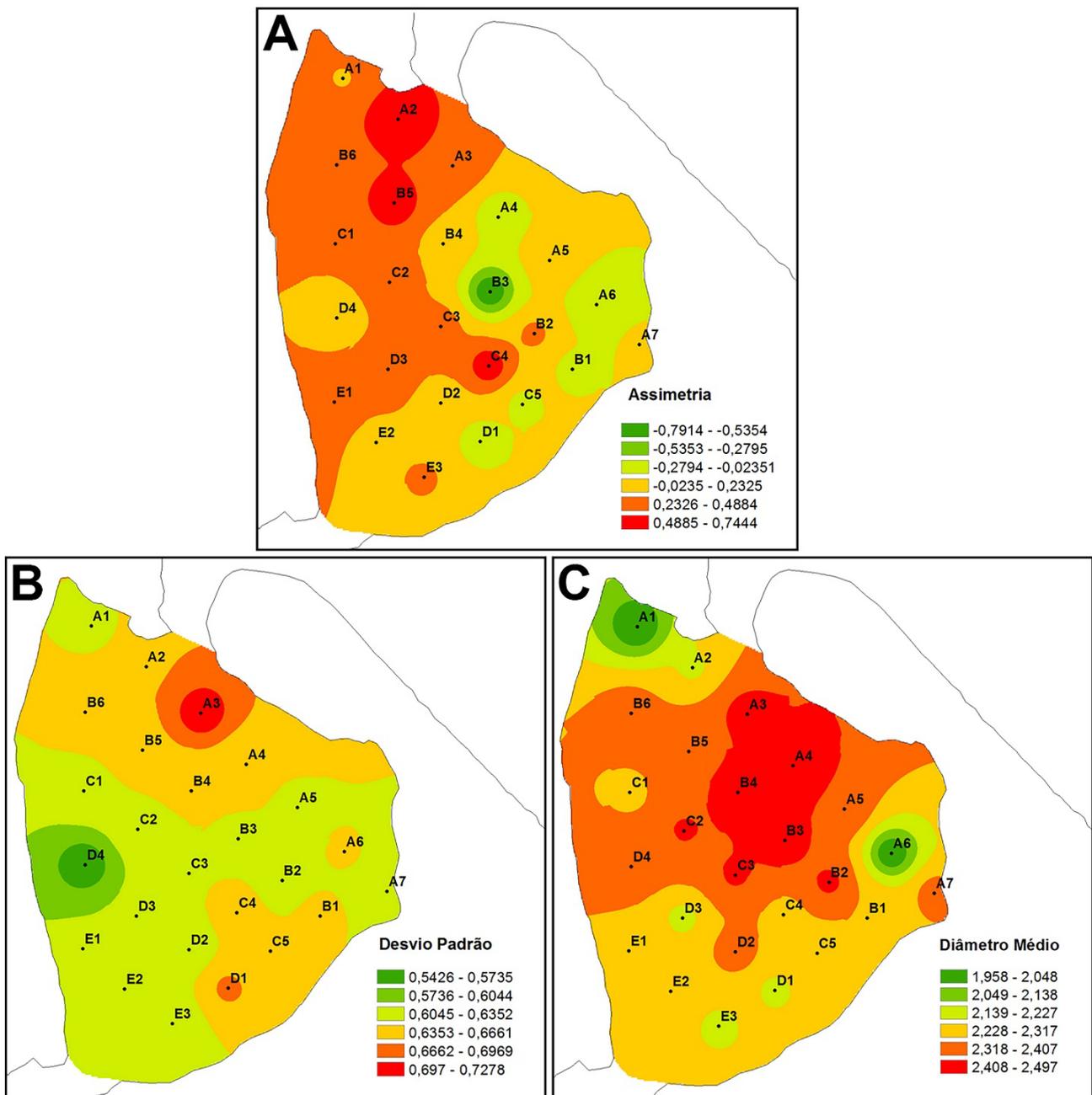


Figura 13. Mapas de interpolação das estatísticas dos três primeiros momentos de Pearson (diâmetro médio, desvio padrão, assimetria) sobre a granulometria das amostras da planície de marés. Os valores encontram-se na escala phi (Φ).

classificação de Folk, 1968), reforçando a ideia de fluxo mais importante vindo do sentido do mar.

Quando comparados ao largo do sistema deposicional, os parâmetros da distribuição granulométrica indicaram uma pobre correlação linear, pois apresentam altos índices para hipótese nula em teste t de Student, sendo do tipo inverso entre diâmetro médio e desvio padrão e do tipo normal nos demais casos (Figura 14).

Cálculo de vetores de transporte

De posse das estatísticas dos três primeiros momentos de Pearson da granulometria e da localização de cada amostra, aplicou-se a regra de transporte de McLaren e Bowles (1985) com teste de significância utilizando o programa livre GSTAST (Chang et al., 2001) para cálculo de vetores de tendência de transporte dos sedimentos. Para o uso do

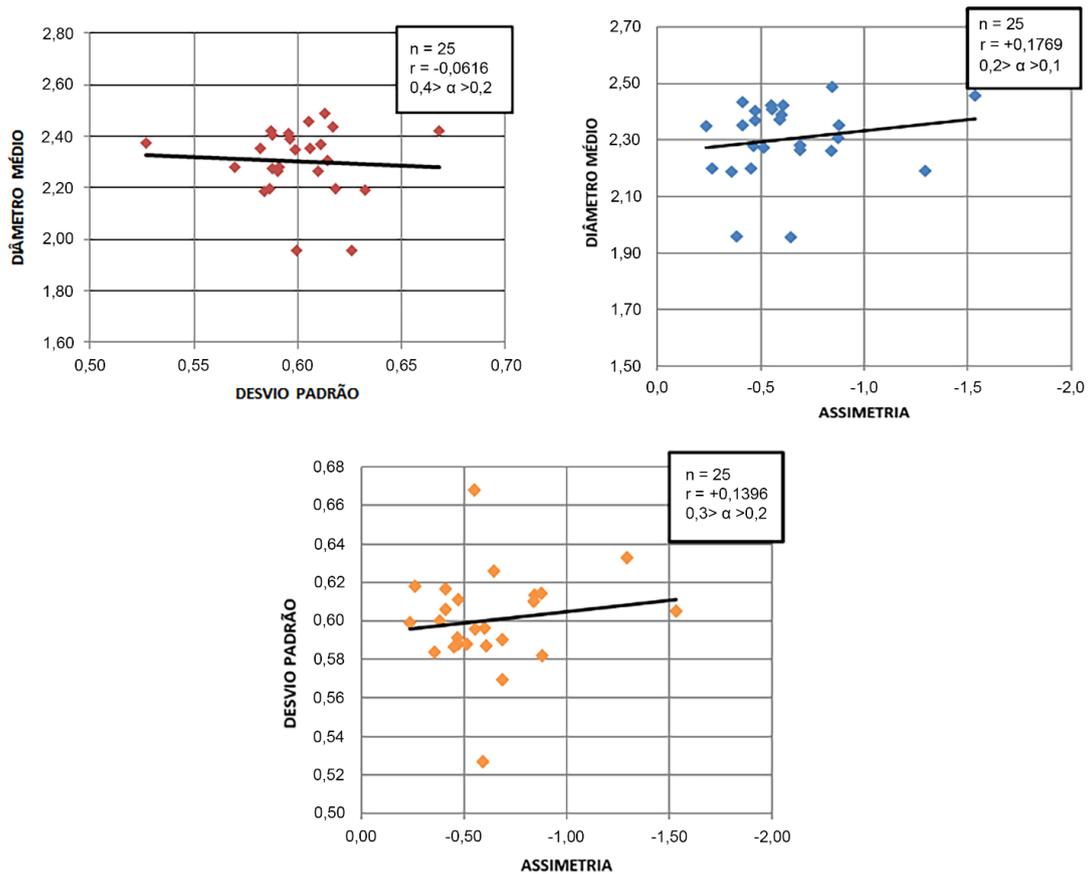


Figura 14. Correlação entre parâmetros dos três primeiros momentos de Pearson nas amostras (valores na escala phi, Φ). Os símbolos n, r e α correspondem respectivamente a número de amostras, coeficiente de correlação linear e nível de significância (por teste de regressão unicaudal t de Student).

GSTAST no presente estudo, foi estabelecida uma distância característica de 181 m e teste de significância por 1.000 iterações a intervalo de confiança de 95%.

Como resultado, o programa aceitou 15 vetores de transporte dominados pelo caso B de McLaren e Bowles (1985: mais fino, melhor selecionado, mais negativo), com rumo médio voltado para SSW (218° AZ) e comprimento adimensional médio de 1,74, representados na Figura 15 por seu equivalente em uma escala decamétrica proporcional. Vale ressaltar que, independentemente do rumo médio, todos os vetores aceitos apontam para SSW. O resultado reforça a ideia de transporte predominantemente advindo das marés enchentes atravessando a barreira pela desembocadura, até porque o comprimento dos vetores aceitos é maior nas proximidades desta última.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados, em conjunto, denotam a intensa dinâmica do estuário do Rio Barra Nova em um período

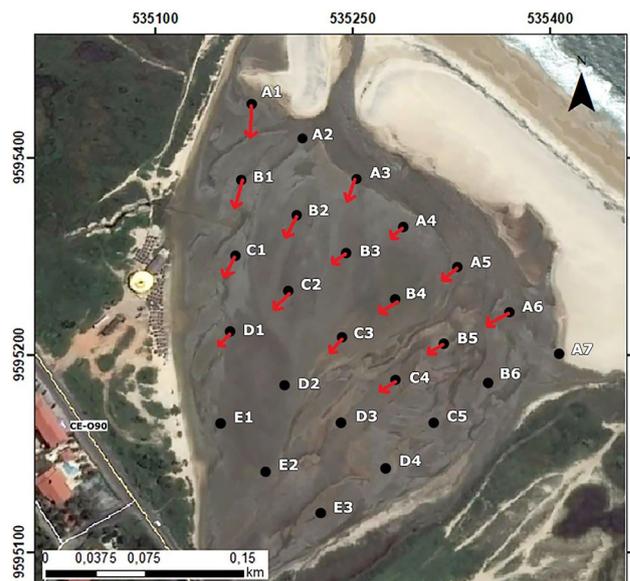


Figura 15. Representação dos vetores de transporte obtidos para o interior da planície de marés do Rio Barra Nova pelo programa GSTAST.

de apenas 15 anos. Nessa dinâmica, destacam-se ciclos alternados de fechamento e abertura da desembocadura e seus deslocamentos graduais e abruptos na direção SE-NW. Essa dinâmica seria controlada por deriva litorânea no lado oceânico. Também se destacam as mudanças intensas na largura e nas formas do lado interno da barreira, incluindo o recorte de embaiamentos e ilhotas. Ambas (desembocadura e barreira) se relacionariam por maior dinamismo associado aos momentos de maior comunicação entre mar aberto e estuário.

Há que se ressaltar a constatação de fechamento artificial da barreira por intervenções antrópicas realizadas pela comunidade local, visando ao lazer e à prática de esportes aquáticos. O último desses eventos foi mencionado como responsável pelo atraso no acesso aos pontos de coleta, que dependeram da maré baixa de sizígia quando da desembocadura aberta. Entrevistas com moradores/usuários locais apontaram que tais intervenções têm sido mais frequentes nos últimos anos, mas não se pode afirmar com segurança, até o momento, se há alguma relação com períodos mais duradouros de fechamento registrados desde 2013.

A granulometria ressalta que, no interior da planície de marés, prevalece o transporte via marés enchentes, como apontado pelos parâmetros estatísticos analisados. Entre os parâmetros dos três primeiros momentos de Pearson, não houve bom grau de correlação linear, provavelmente em virtude da natureza bidimensional da distribuição das amostras, ramificadas entre os canais de maré no interior do sistema. Os mesmos parâmetros, porém, quando avaliados de forma integrada pelo programa GSTAST, obtiveram resultado consistente com vetores de transporte no mesmo sentido mar-terra.

Apesar dos fechamentos da desembocadura, naturais ou artificiais, não há indícios de eutrofização do sistema estuarino uma vez que ocorrem baixos teores de matéria orgânica. No entanto, há teor relativamente mais alto em seu lado norte-noroeste, talvez relacionado a bloqueios temporários na saída da barreira nos momentos de desembocadura fechada. Ainda internamente, a fração arenosa é largamente dominada por grãos de quartzo, e com teor baixíssimo em bioclastos. Entre estes últimos, o domínio de componentes como miliólídeos e ostracodes marinhos reforçam, mais uma vez, a importância da contribuição oceânica, já que esses mesmos componentes têm sido encontrados com teores semelhantes em várias praias do município vizinho a leste.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer aos laboratórios de Geotécnica e Geologia Marinha (DEGEO-CC-UFC) a

infraestrutura disponibilizada para as análises descritas neste trabalho. Particularmente, Narjara Maria Araújo Carneiro e Robert de Lima Muniz agradecem também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) suas bolsas de iniciação científica (Pibic) no período 2015-2016.

REFERÊNCIAS

Almeida, F. F. M., Hasui, Y., Brito Neves, B. B., Fuck, R. A. (1977). Províncias Estruturais Brasileiras. In: Simpósio de Geologia do Nordeste, 8., 1977. *Anais...* Campina Grande. p. 363-391.

Aquino, J. M. (2019). *Província Alcalina de Fortaleza, Ceará, Brasil: petrografia, geoquímica e potencial como remineralizador de solos*. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: Universidade Federal do Ceará. 114 p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/44798>. Acesso em: 1º ago. 2023.

Boyd, R., Dalrymple, R. W., Zaitlin, B. A. (2006). Estuarine and incised valley facies models. In: Posamentier, H. W.; Walker, R. G. (eds.). *Facies models revisited*. Tulsa: Society for Sedimentary Geology, p. 171-236. <https://doi.org/10.2110/pec.06.84.0171>

Brandão, R. L. (1995). *Sistemas de informações para a Gestão e Administração Territorial da Região Metropolitana de Fortaleza - Projeto SINFOR*. Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas de Ocupação da Região Metropolitana de Fortaleza. Brasil: Serviço Geológico do Brasil, 105 p. Disponível em: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/8567>. Acesso em: 22 jun. 2023.

Carneiro, N. M. A., Rodrigues, L. I., Silva, I. O., Feitosa, G. A., Cavalcante, A. E., Souza, M., Trinta, M. M. A., Nunes, J. A., Nascimento Jr., D. R. (2022). Evidência de atividade neotectônica pós-miocênica na Ponta do Mucuripe (Fortaleza, CE) e sua possível influência na conformação da linha de costa. In: IV Simpósio Brasileiro de Geologia e Geofísica Marinha. *Anais...* Salvador: SBF, v. 1.

Chang, Y. H., Scrimshaw, M. D., Lester, J. N. (2001). A revised grain-size trend analysis program to define net sediment transport pathways. *Computers & Geosciences*, 27(1), 109-114. [https://doi.org/10.1016/S0098-3004\(00\)00065-0](https://doi.org/10.1016/S0098-3004(00)00065-0)

Dalrymple, R. W. (1992). Tidal depositional systems. In: Walker, R. G., James, N. P. (Eds.). *Facies models: response to sea level change*. Newfoundland: Geological Association of Canada, 407 p.

- Fechine, J. A. L. (2007). *Alterações no perfil natural da zona costeira da cidade de Fortaleza, Ceará, ao longo do século XX*. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, 116 p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/7938>. Acesso em: 25 fev. 2015.
- Fernandes, K. (2005). Mar avança, destrói casa e ameaça praias no Ceará. *Folha de S.Paulo*.
- Folk, R. L. (1968). *Petrology of sedimentary rocks*. Austin: Hemphill Publishing Co., 170 p.
- Freitas, R. B., Farias, E. T. L. (2015). *Sedimentologia de recifes de Phragmatopoma lapidosa Kinberg (1867) da Região Metropolitana de Fortaleza (CE)*. Relatório de Iniciação Científica (PIBIC). Fortaleza: Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, 19 p.
- Freitas, R. B., Silva, A. A. P., Nascimento Jr., D. R., Menezes, M. S., Franklin Jr., W. (2019). Análise Sedimentológica de Recifes do Gênero Phragmatopoma Mörch, 1863 (Annelida: Polychaeta) da Região Metropolitana de Fortaleza (CE). *Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*, 42(4), 322-337. https://doi.org/10.11137/2019_4_322_337
- Gao, S., Collins, M. (1992). Net sediment transport patterns inferred from grain size trends, based upon definition of “transport vectors”. *Sedimentary Geology*, 81(1-2), 47-60. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(92\)90055-V](https://doi.org/10.1016/0037-0738(92)90055-V)
- Giannini, P. C. F. (1987). *Sedimentação quaternária na planície costeira de Itanhaém-Peruíbe (SP)*. Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 104 p. <https://doi.org/10.11606/D.44.1987.tde-08042013-101021>
- Giannini, P. C. F. (1993). *Sistemas deposicionais no Quaternário costeiro entre Jaguaruna e Imbituba, SC*. Tese (Doutorado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 439 p. <https://doi.org/10.11606/T.44.1993.tde-11032013-133424>
- Governo Municipal de Caucaia (2015). *Portal*. Disponível em: <http://www.caucaia.ce.gov.br/>. Acesso em: 22 fev. 2015.
- Grant-Gross, M. (1971). Carbon determination. In: Carver, R. E. (Ed.). *Procedures in Sedimentary Petrology*. New York: Wiley Interscience, p. 573-596.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2011). *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil*. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências, 176 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=283741>. Acesso em: 1º ago. 2023.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2015). *Censo demográfico*. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?lang=&coduf=23&search=ceara>. Acesso em: 1º ago. 2023.
- Jesus, A. C. D. L. (2014). *Estudo das variáveis oceanográficas na área de influência do terminal marítimo de passageiros do Porto de Fortaleza, Praia Mansa, Ceará, Brasil*. Dissertação (Mestrado). Fortaleza: Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Universidade Federal do Ceará, 142 p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/16411>. Acesso em: 1º ago. 2023.
- Lima, L. C., Morais, J. O., Souza, M. J. N. (2000). *Compartimentação territorial e gestão regional do Ceará*. Fortaleza: Editora Funece, 268 p.
- Maia, L. P. (1998). *Procesos costeros y balance sedimentario ao largo de Fortaleza (NE-Brasil): implicaciones para una administración adecuada de la zona costera*. Tese (Doctorado). Barcelona: Universidad de Barcelona, 269 p. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/40/1/1998_tese_lpmaia.pdf. Acesso em: 22 fev. 2015.
- McLaren, P., Bowles, D. (1985). The effects of sediment transport on grain size distributions. *Journal of Sedimentary Petrology*, 55(4), 457-470. <https://doi.org/10.1306/212F86FC-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- MMA – Ministério do Meio Ambiente (2006). *Portal*. MMA. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/>. Acesso em: 21 set. 2023.
- Morais, J. O. (1980). *Aspectos da Geologia Ambiental Costeira no Município de Fortaleza – Ceará*. Tese (Professor Titular). Fortaleza: Departamento de Geociências, Universidade Federal do Ceará, 318 p. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/39838>. Acesso em: 23 jun. 2023.
- Morais, J. O. (1981). Evolução Sedimentar da Enseada do Mucuripe. *Arquivo de Ciências do Mar*, 21(1-2), 20-32. <https://doi.org/10.32360/acmar.v21i1-2.31547>
- Moreira, M. M. M., Gatto, L. C. S. (1981). Diagnóstico Geoambiental e os Principais Problemas da Região Metropolitana de Fortaleza. In: Brasil. Ministério de Minas e Energia. Secretaria Geral. *Projeto RADAMBRASIL*. Brasil: SGB-CPRM, 105 p.
- Muehe, D. (1996). Geomorfologia Costeira. In: Cunha, S. B., Guerra, A. J. T. (eds.). *Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 191-233.
- Nascimento Jr., D. R. (2006). *Morfologia e sedimentologia ao longo do sistema praia - duna frontal de Ilha Comprida, SP*.

- Dissertação (Mestrado). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 96 p. <https://doi.org/10.11606/D.44.2006.tde-15032007-161706>
- Pettijohn, F. J. (1975). *Sedimentary Rocks*. 3. ed. New York: Harper & Row, 628 p.
- Reinson, G. E. (1992). Transgressive barrier island and estuarine systems. In: Walker, R. G.; James, N. P. (Eds.). *Facies models: response to sea level change*. Newfoundland: Geological Association of Canada, p. 179-194.
- Santana, E. W. (Coord.) (2009). *Plano estratégico dos recursos hídricos do Ceará*. Fortaleza: / Conselho de Altos Estudos e Assuntos Estratégicos, Assembleia Legislativa do Estado do Ceará, 408 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/95092/1/Plano-Estrategico.pdf>. Acesso em: 1º ago. 2023.
- Santos, E. J., Brito Neves, B. B. (1984). Província Borborema. In: Almeida, F. F. M., Hasui, Y. (Coord.). *O Pré-cambriano do Brasil*. São Paulo: Edgard Blücher. p. 123-186.
- Silva, A. A. P., Freitas, R. B. (2017). *Análise sedimentológicas de recifes do gênero Phragmatopoma da Região Metropolitana de Fortaleza*. Relatório de Graduação. Fortaleza: Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, 49 p.
- Suguio, K. (1973). *Introdução à sedimentologia*. São Paulo: Edgard Blücher/Edusp, 317 p.
- Suguio, K. (1980). *Rochas Sedimentares: propriedades, gênese e importância econômica*. São Paulo: Edgard Blücher, 500 p.
- Wentworth, C. A. (1922). A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, 30(5), 377-392. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/30063207>. Acesso em: 1º ago. 2023.
- Werneck, L. S., Magini, C., Nascimento Jr., D. R., Antunes, R. L. (2021). Ocorrência de rochas sedimentares carbonáticas do Cretáceo Superior no substrato da cidade de Fortaleza e suas possíveis implicações estratigráficas e estruturais. *Geociências UNESP*, 40(2), 373-395. <https://doi.org/10.5016/geociencias.v40i02.14946>