

MORFODINÂMICA E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS EM PRAIAS AMAZÔNICAS DE MESO-MARÉS: O CASO DA VILA DO CONDE (BARCARENA/PARÁ)

Morphodynamics and Sediment Transport in Amazon Mid-Tide Beaches: the Case of Vila do Conde (Barcarena/Pará)

El-Robrini Maâmar

Geólogo Marinho, Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC), Universidade Federal do Pará, Brasil
robrini@ufpa.br

Paulo Victor Magno Silva

Oceanógrafo, Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC), Universidade Federal do Pará, Brasil
magno@gmail.com

Marcos Vinicius Rodrigues Coimbra

Oceanógrafo, Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC), Universidade Federal do Pará, Brasil
coimbra.marcus@gmail.com

Recebido: 15.02.2023

Aceito: 14.08.2023

Resumo

As praias Grande (Barcarena) e Beja (Abaetetuba) ocorrem na foz do rio Tocantins, sendo influenciadas pela forçantes fluviais (vazão de $382,11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), mesomaré semidiurna (altura e corrente máxima, respectivamente de $3,4 \text{ m}$ e $1,93 \text{ m.s}^{-1}$) e meteorológicas (chuvas $> 2.500 \text{ mm.ano}^{-1}$, ventos média $> 5,1 \text{ km.h}^{-1}$). Estas praias estão assentadas sobre o "Low Terrace" que domina os fundos de 15 m de profundidade, sendo separadas pelo canal de maré Arienga, que recorta um trecho com falésias (Praia Grande) e baixo (Praia de Beja). Duas campanhas foram realizadas no final dos períodos chuvoso e seco, sob influência da maré astronômica (maior super lua de 2016). A metodologia consistiu de medições: da topografia praial, pontual do transporte longitudinal de sedimentos na zona de surf e da hidrodinâmica (ondas e correntes), coleta e características texturais dos sedimentos, estados e classificação morfodinâmicos e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos. As praias Grande e Beja têm respectivamente, extensão e largura de $1,4 \text{ km}$ e $0,97 \text{ km}$, e 34 m e $150 - 360 \text{ m}$. O balanço sedimentar foi maior na praia de Beja ($154,28 \text{ m}^3/\text{m}$) que na praia Grande ($106,83 \text{ m}^3/\text{m}$). O transporte longitudinal sedimentar é bem maior no chuvoso que no seco, na praia de Beja, com $464 (10\text{-}2\text{Kg}/\text{min}/\text{m}^3 - \text{vazante})$ e $456 (10\text{-}2\text{Kg}/\text{min}/\text{m}^3 - \text{enchente})$. Entretanto, na praia Grande foi de $450,6 (10\text{-}2\text{Kg}/\text{min}/\text{m}^3 - \text{vazante})$ e $276,4 (10\text{-}2\text{Kg}/\text{min}/\text{m}^3 - \text{enchente})$. O caráter morfodinâmico (Wright e Short), Beja é uma praia intermediária com bancos transversais (chuvoso) e intermediária com terraço de baixamar (seco). A praia Grande é intermediária com banco e calha longitudinal nos 2 períodos. Para o modelo de Masselink e Short, a praia de Beja é dominada por marés (chuvoso) calhas e barras de baixamar (seco), ultradissipativas. A praia Grande é reflectiva e é influenciada por ondas e marés.

Palavras-chave: Barcarena, Abaetetuba, Amazônia, mesomaré, sazonalidade, balanço sedimentar.

Abstract

The Grande (Barcarena) and Beja (Abaetetuba) beaches occur at the mouth of the Tocantins River, being influenced by fluvial forces (flow of $382.11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), semidiurnal macrotide (height and maximum tidal current, respectively of 4.4 m and 1.93 m.s^{-1}) and weather conditions (rainfall $> 2,500 \text{ mm.year}^{-1}$, average winds $> 5.1 \text{ km.h}^{-1}$). These beaches are located on the "Low Terrace", which dominates the 15m depths and is separated by the Arienga tidal channel. This channel cuts a stretch with cliffs (Grande) and low (Beja). Two campaigns on these beaches were carried out at the end of the rainy and dry periods under the influence of the astronomical tide generated by the largest supermoon of the year 2016. The methodology consisted of measurements of the beach topography, point of longitudinal sediment transport (traps) in the surf zone and coastal hydrodynamics (waves and currents), collection and texture characteristics of sediments, morphodynamic states and classification and quantification of longitudinal sediment transport. The beaches Grande and Beja have a length and width of 1.4 km and 0.97 km, respectively, and 34 m and 150 - 360 m. The sediment balance was higher at Beja Beach ($154.28 \text{ m}^3/\text{m}$) than at Grande Beach ($106.83 \text{ m}^3/\text{m}$). The longitudinal sediment transport is much bigger in the rainy period than in the dry one, in the beach of Beja, with 464 ($10\text{-}2\text{Kg}/\text{min}/\text{m}^3$ - ebbing) and 456 ($10\text{-}2\text{Kg}/\text{min}/\text{m}^3$ - in flood). However, at Praia Grande, it was 450.6 ($10\text{-}2\text{Kg}/\text{min}/\text{m}^3$ - ebb) and 276.4 ($10\text{-}2\text{Kg}/\text{min}/\text{m}^3$ - flood). The morphodynamic character in the model of Wright and Short (1984), Beja, is an intermediate beach with transverse seats in the rainy season and an intermediate with a low tide terrace in the dry season. Praia Grande is classified as intermediate with bench and longitudinal gutter in both periods. For Masselink and Short's model, Beja Beach is dominated by tides (rainy season), runnel and ridges at low tide and ultra-dissipative in the dry season. Waves and tides influence Praia Grande and have reflective characteristics.

Keywords: Barcarena, Abaetetuba, Amazon Region, mesotide, seasonality, sedimentary balance.

1. INTRODUÇÃO

A zona costeira é muito dinâmica, e as mudanças da linha de costa (LC), ocorrem em diferentes escalas espaciais e temporais em resposta às oscilações do nível do mar, balanço sedimentar e condições hidrodinâmicas (ALVAREZ-ELLACURIA *et al.*, 2010; LIRA *et al.*, 2016). Segundo Luijendijk *et al.* (2018), as costas arenosas são altamente dinâmicas no tempo e no espaço e de acordo com Scott *et al.* (2011) e Latapy *et al.* (2020), a morfologia varia com a mudança da hidrodinâmica (ondas, altura e correntes de marés), enquanto que a morfologia modal da praia muda espacialmente em resposta à variabilidade geográfica nas condições ambientais (movimentos do oceano, balanço sedimentar, geologia, etc.). A faixa praial compreende um espaço desde o supramaré (maré alta de sizígia), a partir dos contrafortes das dunas e/ou falésias ativas, passando pela mesomaré (maré alta - baixa de sizígia) até a baixamar (a partir do nível de baixamaré de sizígia), podendo incluir os fundos de até 20m.

As praias arenosas podem variar significativamente de seu estado inicial, dependendo da sazonalidade, vegetação, mudança das condições de ondas, marés, alterando a largura,

extensão (ERICKSON *et al.*, 2017), sendo susceptíveis à erosão, ao transporte e, por fim, à distribuição granulométrica.

Em regra geral, a praia é um prisma dinâmico, composto por sedimentos desde os grosseiros até os finos, sendo condicionados pelas forças meteorológicas, hidrodinâmicas. A análise da distribuição do tamanho de grão tem sido amplamente utilizada por sedimentologistas para classificar ambientes sedimentares e elucidar a dinâmica de transporte (AYODELE; MADUKWE, 2019). A distribuição da frequência do tamanho dos grãos e os fatores texturais podem refletir o modo de transporte e a história deposicional de uma área. Vários pesquisadores se esforçam para inferir o ambiente deposicional, a hidrodinâmica e a variação da declividade das praias, a partir do tamanho de grão. Segundo Masselink e Short (1993), efeitos da maré sobre a hidrodinâmica e morfologia de praia são resultado da variação vertical do nível da água, onde a maré retarda a taxa de transporte de sedimentos e a mudança morfológica. Entretanto, a elevação da amplitude de maré resulta na redução do gradiente global da praia, a maré inibe a formação de barras offshore, célula nearshore de circulação aumenta em condições de baixamar e a subida da amplitude da maré, as correntes longshore se tornam cada vez mais dominantes nas zonas intertidal e subtidal.

Segundo Short (1999), areias finas produzem baixa declividade (1° a 3°) na zona de espraiamento, maior zona de surfe e potencialmente mais areias removidas. Já as praias com areia média a grossa possui maior declividade e menor quantidade de areia sendo movimentada na zona de surfe. Durante os períodos secos, a massa de água na zona de espraiamento, possui menor quantidade de energia turbulenta, sendo que as areias removidas para trás da zona de arrebentação tendem a migrar novamente, agora em direção à zona de espraiamento (MASSELINK; SHORT 1993). Segundo Cowell e Thom (1997), a evolução da zona costeira é o produto de processos morfodinâmicos, que ocorrem em resposta às mudanças nas condições externas, promovendo o ajuste mútuo da topografia e da dinâmica dos fluidos, envolvendo o transporte sedimentar. Mudanças na granulometria podem resultar em uma mudança no estado da praia (ANFUSO; GARCIA, 2005; BENAVENTE *et al.*, 2006). O transporte de sedimentos está relacionado com movimentos de sedimentos em suspensão e/ou com carga de fundo (saltação, rolamento, arrasto), sendo controlados e modificados por processos difusos, gravitacionais e advectivos, como a granulometria do sedimento, densidade do fluido, velocidade da corrente, formas de fundo, concentração de sedimentos coesivos e influência biológica (NITTRouer; WRIGHT, 1994). De acordo com Lira *et al.* (2016), as atividades humanas e

a ocupação crescem nas zonas costeiras, os problemas e os desafios de manejo também aumentam como resultado da necessidade de acomodar as mudanças e a ocupação costeira.

Poucos estudos são realizados em praias estuarinas (trecho superior ou Zona de Rio): praia do Cajuúna, Soure/Marajó (BITTENCOURT, 2016; FRANÇA *et al.*, 2007); Litoral do Pará (EL-ROBRINI *et al.*, 2018).

A área de investigação está localizada dentro do Complexo Portuário de Vila do Conde (Barcarena, Pará), onde constam terminais, com estruturas de acostagem, compostas por piers perpendiculares a margem e berços para atracação de navios. Este artigo evidencia as alterações morfodinâmicas sazonais e a quantificação do transporte sedimentar longitudinal na foz do rio Tocantins (Praias Grande/Barcarena e Beja/Abaetetuba).

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE INVESTIGAÇÃO

As praias de Beja e Grande ocorrem, respectivamente nos municípios de Abaetetuba e Barcarena, esta última fica próximo a terminais portuários (Figura 1). Estes municípios estão limitados ao norte pela baía do Guajará e município de Belém; ao sul pelo município de Mojú; a leste pela baía do Guajará e município de Acará e a Oeste pela baía do Marajó. Estas praias se inserem na foz do rio Tocantins, recortada por estuários, canais de maré, furos e igarapés. O acesso às praias é feito via rodoviária, através da PA 481 e Alça viária ou via hidroviária, com lancha com tempo de travessia de 1 hora até Barcarena.

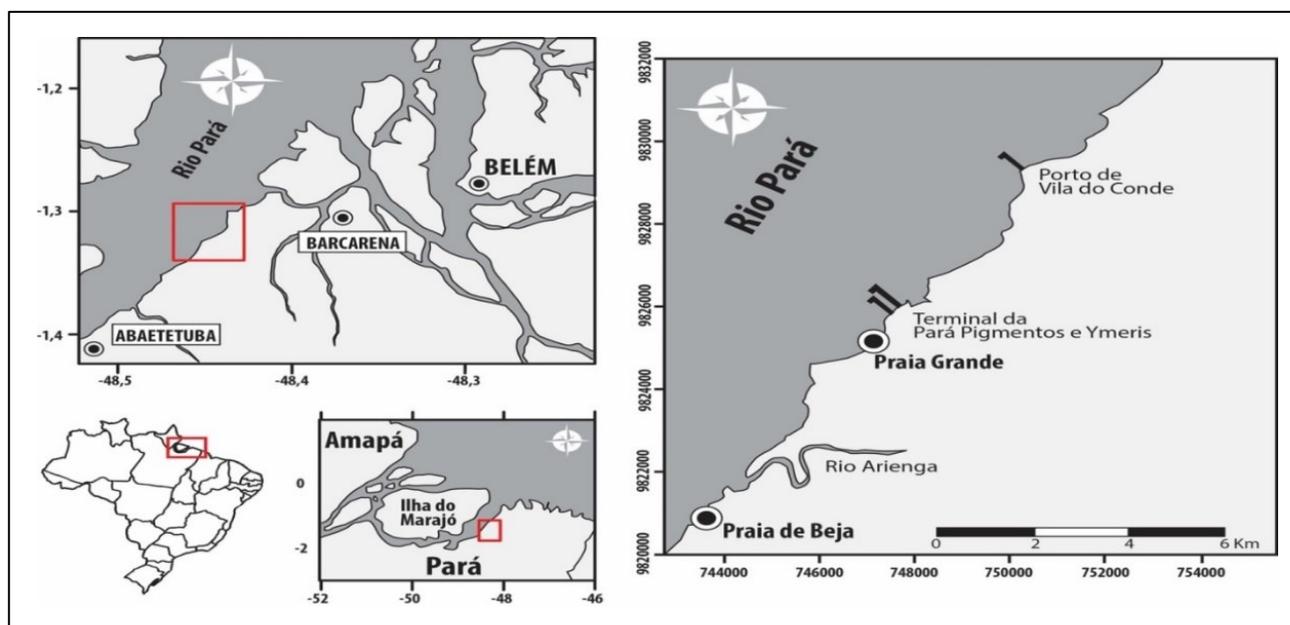


Figura 1 - Mapa de localização das praias estuarinas de Beja (Abaetetuba) e Grande (Barcarena), separadas pelo canal de maré Arienga, situadas à esquerda do complexo portuário de Barcarena.

3. CARACTERÍSTICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A região de investigação está inserida na bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia (ANA, 2023), e situa-se na zona de fronteira da foz do rio Tocantins com o estuário do rio Pará. As praias investigadas ocorrem na parte esquerda do Complexo Portuário de Barcarena, onde pontes de acesso, construídas sobre pilhas acima do nível mais alto da preamar, avançam sobre o estuário do rio Pará, favorecendo a hidrodinâmica local. Na orla de Barcarena, afloram pacotes de sedimentos e níveis de concreções ferruginosas (base) do Grupo Barreiras (Mio - Pleistoceno) (ROSSETTI *et al.*, 1989) e do Quaternário (Pleistoceno-Holoceno). O Grupo Barreiras ocorre na maior parte continental e forma as falésias ativas (10-12m), plataforma de abrasão e terraços baixos ("Low Terraces") que suportam estas praias. Enquanto, os sedimentos do Pós-Barreiras (areno-argilosos, avermelhados/amarelados, inconsolidados, sem estruturação) e aluviões recentes (Quaternário) predominam nas ilhas próximas, e margens dos rios.

Em Barcarena, ocorrem o Planalto Rebaixado da Amazônia (Terra Firme), com relevos ondulados e superfície plana, com até 60 m de elevação (COSTA *et al.*, 1991), que forma as falésias ativas; a Planície Aluvial (várzea), com canais fluviais meandantes (rios e "furos"), planícies de inundações e diques marginais; e a Planície Estuarina, com canais estuarinos, planícies de maré lamosa, influenciados pelas águas do rio Tocantins e do estuário do rio Pará e praias estuarinas.

O clima da região é do tipo Am (*Köppen*) e corresponde à categoria de quente e úmido, com altas temperaturas (média das máximas - 32 °C/INMET, 2023), inexpressiva amplitude térmica, e precipitações abundantes. O ciclo sazonal das chuvas na costa amazônica é marcado fortemente pelo movimento migratório latitudinal da ZCIT, definido como o máximo em precipitação tropical ou como um cinturão tropical de nuvens convectivas, e sua posição média varia sazonalmente de 9 ° N a 2 ° N no Oceano Atlântico Equatorial (UTIDA *et al.*, 2019). A estação menos chuvosa ocorre de junho a novembro, quando a ZCIT se desloca para o Hemisfério Norte e o nível de precipitação é menor. Já a estação chuvosa (> 2.500 mm ano-1/INMET, 2023) ocorre de dezembro a maio, quando a ZCIT está mais ao Hemisfério Sul e as chuvas são mais intensas (400 mm/INMET, 2023). A Umidade Relativa do ar durante o primeiro trimestre tem as maiores médias com 91 %, enquanto no último trimestre têm-se os menores volumes (INMET, 2023). Os ventos provenientes do Oceano Atlântico não têm muita intensidade e a velocidade horária média do vento passa por variações sazonais pequenas ao longo do ano (SILVA *et al.*, 2017). Os ventos são mais

frequentes no período de agosto a janeiro, com velocidade média $> 5,1 \text{ km h}^{-1}$ (SILVA *et al.*, 2017; INMET, 2023).

De acordo com a classificação de Miranda *et al.* (2017), as praias de Beja e Grande ocorrem às margens do trecho superior do estuário do rio Pará e tem predomínio do regime de mesomaré semidiurna e é bem misturado, a preamar máxima e mínima tem respectivamente altura de 3,4 m e -0,3 m (DHN, 2023). No período chuvoso, ocorrem as marés dinâmicas e no seco as marés salinas. Em geral, na superfície da água, a direção das correntes de maré é predominantemente no sentido SW/WSW (enchente) e de ENE/NE (vazante). As correntes de maré máximas indicam que a velocidade é de $1.2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (sizígia) e $0.6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (quadratura), acompanhando a Linha de Costa. Na proximidade das praias Grande e Beja, foram registradas correntes de maré, com velocidade de $0,57 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (rio Capim) e $0,32 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (canal de maré Arienga) e a vazão no rio Capim foi superior com $382,11 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ que no canal de Arienga $44,69 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (SANTOS *et al.*, 2019).

4. METODOLOGIA

4.1. Aquisição de Dados

As campanhas nas praias de Beja (Abaetetuba) e Grande (Barcarena) ocorreram no final do período chuvoso (25-28/07/2016), sob condições atmosféricas mais expressivas, e no final do seco (13-14/11/2016), sob influência da maré astronômica gerada pela maior super lua do ano. O trabalho em campo consistiu em: (a) técnica de medição pontual do transporte longitudinal de sedimentos (*traps*) na zona de surf, (b) coleta de sedimentos, (c) medições da topografia praial, para verificação da morfologia da praia e (d) medições da hidrodinâmica estuarina (ondas e correntes de maré) (Figura 2).

O método dos “*traps*” (método portátil de KRAUS, 1987) foi aplicado na parte submersa (zona de surf) das áreas de estudo, durante as marés de enchente e vazante, no setor central das praias. O intuito foi verificar, nestas duas situações, o transporte longitudinal de sedimentos e a densidade de sedimentos mobilizados ao longo da coluna d’água. O conjunto de “*traps*” fixado ao suporte foi posicionado em sentido contrário da corrente longitudinal e, os pés do suporte foram completamente enterrados no fundo até que a boca do primeiro “*trap*” tocasse o fundo, o tempo de coleta foi de 3 min. Após o procedimento de coleta, o aparelho foi retirado da água com as aberturas das redes para cima, a fim de evitar perda de sedimentos.

Os “traps” nº 2 a 10, de baixo para cima, foram responsáveis pela coleta dos sedimentos em suspensão e o “trap” nº 1, responsável por coletar sedimentos transportados junto ao fundo. Wang *et al.* (1998) consideram como transporte de fundo todo o sedimento transportado na camada que vai do fundo até a cota de 0,10 m acima dele. Antes de cada coleta, foi feita uma medição da altura de onda para identificar a altura máxima e, conseqüentemente, o limite máximo de redes da torre metálica a ser colocado da base ao topo e, foi medida a intensidade da corrente longitudinal, que inclui a identificação da direção da mesma, para que se soubesse em qual posição colocar a torre: contra a corrente. Posterior à coleta, as redes foram identificadas com abraçadeiras enumeradas, de baixo para cima.

O objetivo no estabelecimento do perfil praiial é de verificar a tendência erosiva ou de acreção destas praias. Os perfis foram realizados transversalmente à LC, utilizando-se um nível óptico (TOPCON AT-G6), com auxílio de uma régua graduada (mira), aplicando-se o método STADIA (BIRKEMEIER, 1985). As medições topográficas foram realizadas em situação de maré baixa de sizígia, tiveram início na linha de maré alta de sizígia de cada perfil praiial e as cotas seguintes foram registradas seguindo um padrão de 10 m linearmente, cessando-se até um pouco além da linha de maré baixa de sizígia de cada perfil. Foram executados 10 perfis topográficos, distribuídos em 5 perfis na praia de Beja e mais 5 na praia Grande, adotando uma equidistância de 150 m entre si (Figura 2).

A coleta de sedimento foi efetuada a cada 20 m, seguindo a linha dos perfis, com auxílio de um GPS (Global Positioning System) (Figura 2). A partir da linha de maré alta de sizígia, iniciou-se a coleta de sedimentos com uso de amostrador de PVC, que tem finalidade de coletar a camada sedimentar superficial correspondente à deposição semidurna mais recente. A cada 20 m linearmente ou em uma morfologia característica (barra ou calha) realizou-se o mesmo procedimento, sendo o último ponto de coleta de cada perfil localizado um pouco além da linha de maré alta de sizígia, objetivando-se amostrar os sedimentos mobilizados naquele momento pela deriva litorânea. Após a coleta das amostras de sedimentos, as mesmas foram acondicionadas em sacos plásticos, identificados.

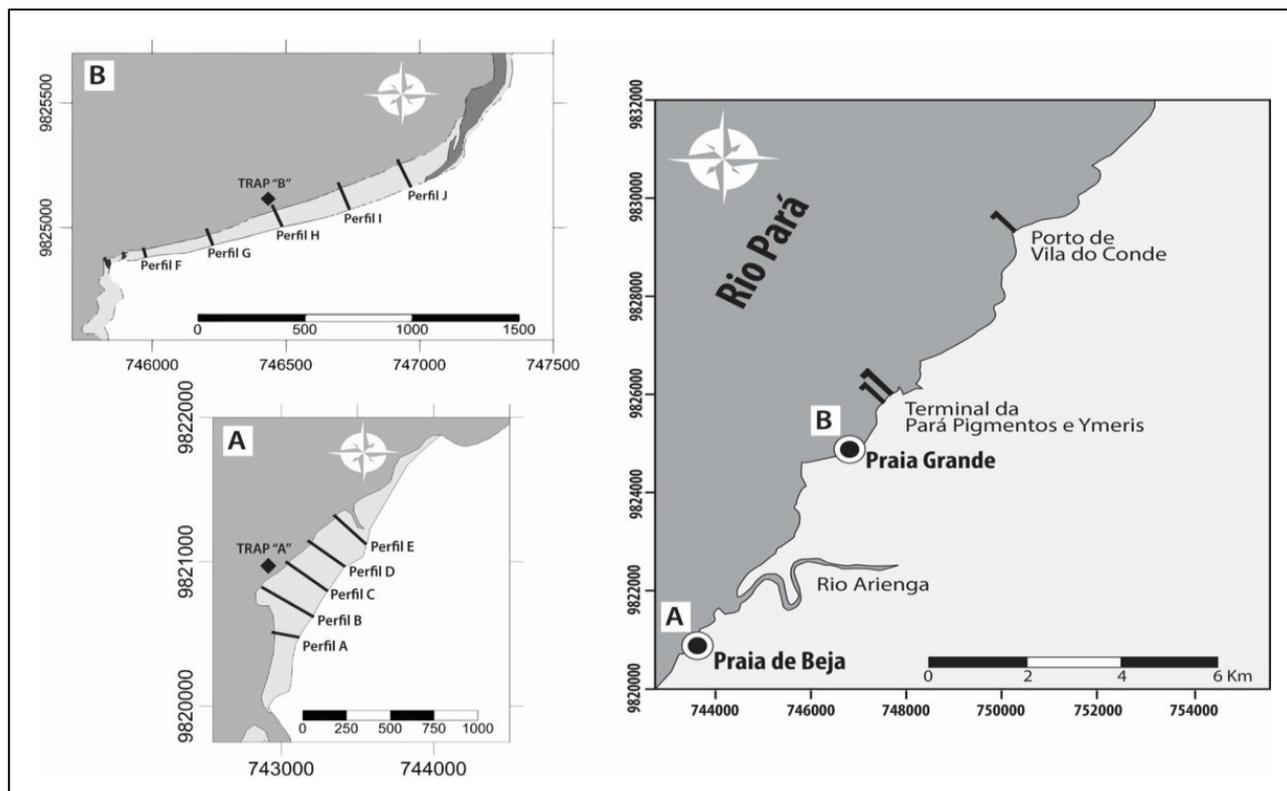


Figura 2 - Mapa de localização dos dados: Perfis topográficos A, B, C, D, E, Trap "B" na praia Grande (área B) e perfis topográficos F, G, H, I, J, Trap "A" na praia de Beja (área A).

A avaliação da altura, período e direção de incidência das ondas sobre a LC é fundamental para o cálculo do transporte de sedimentos e para caracterização geomorfológica da praia (MUEHE, 2019). A altura das ondas (H) representa a energia da onda e foi medida junto com o período e direção de incidência de ondas entre a zona de arrebatção e a face praial antes do método dos "traps", durante a maré vazante e enchente.

Com o auxílio de uma régua graduável de 5 m (mira), foi possível cronometrar o tempo da passagem de 11 cristas de ondas sucessivas, as 11 cristas com alturas medidas. O período de ondas (T) é o resultado deste intervalo de tempo, é medido em segundos, representando a passagem de 2 cristas de ondas sucessivas por um ponto fixo, já que o resultado do tempo da passagem das 11 cristas é dividido por 10 (determinação do período médio).

Com o auxílio da bússola, verificou a direção da inclinação da face praial (direção do ângulo de mergulho). A direção de aproximação das ondas na altura da arrebatção. O resultado da diferença entre as duas direções medidas fornece um entendimento da direção da corrente longitudinal. Se o resultado for positivo, a direção da

corrente longitudinal e, por consequência, a direção do transporte de sedimentos, será para a direita do observador, se for negativo, será para a esquerda (MUEHE, 2004).

Foi medida a intensidade e direção das correntes longitudinais através de bóia de deriva entre o ponto de quebra de onda e a linha de praia (FONTOURA, 2004). Foi marcado o ponto de liberação do derivador e acionado um tempo de 2 min para a retirada do objeto. Este ponto final foi também marcado e, então, a distância deste ao ponto de liberação foi medida (m). A direção registrada fornece apenas a informação de que a corrente está para N, S, E ou W.

4.2. Características Texturais dos Sedimentos

No Laboratório, as amostras de sedimentos foram submetidas a tratamentos para a separação das frações granulométricas, com lavagem e secagem das amostras em estufa a 60 °C, e logo após, foi feito o quarteamento destas, e a seleção de alíquotas de 100 g. O peneiramento a seco por 10 min se utiliza do conjunto de peneiras com os seguintes intervalos (mm): 0,71 – 0,50 – 0,35 – 0,25 – 0,18 – 0,125 – 0,09 – 0,063 – <0,063 para estabelecer a curva de distribuição granulométrica. Por fim, as diferentes frações encontradas no peneiramento foram pesadas em balança. As amostras lamosas seguiram o mesmo procedimento anterior. A separação de silte/argila foi feita por decantação com centrífuga a uma velocidade de 1.000 RPM e tempo de 3 min. Tendo-se o valor da fração retida após a peneira de 0,063 mm (a seco), subtraiu-se deste, o valor da fração decantada na centrífuga. Este valor obtido após a secagem na estufa corresponde à fração de silte. Por fim, deste resultado da diferença dos valores das duas frações, encontraram-se também os valores para o conteúdo de argila. Os valores das frações obtidas dos dois tratamentos anteriores foram utilizados para calcular as características texturais dos sedimentos (SysGran 3.0) e a classificação dos sedimentos arenosos e lamosos. A equivalência entre o phi (Φ) corresponde à unidade de medida do diâmetro da partícula do sedimento, e o milímetro (mm) é representada pela fórmula de Krumbein (1936):

$$\Phi = - \log_2 (\text{mm}) \quad (1)$$

Quanto maior o valor em phi (Φ), menor o valor em milímetros (mm), e vice-versa.

O Método de FOLK; WARD (1957) consiste na elaboração de um gráfico a partir do percentual encontrado pelos pesos de cada fração sedimentar, onde o eixo das

coordenadas (X) apresenta a escala dos percentuais e o eixo das abscissas (Y) os valores em phi (Φ) dos tamanhos granulométricos. São utilizados os seguintes parâmetros estatísticos para distribuição granulométrica: média, mediana, moda, desvio padrão, assimetria e curtose. Segundo Muehe (2004), a moda, mediana e a média são valores de tendência central. A mediana se situa entre a moda, isto é, o valor correspondente à maior frequência de ocorrência de um dado tamanho granulométrico. A média é mais afetada pela posição das caudas da curva granulométrica. O desvio padrão descreve a dispersão em relação à média. A assimetria descreve se a curva é ou não simétrica, e, sendo assimétrica, para que lado se inclina a cauda mais longa da curva. A curtose é uma medida de esbeltez da curva de distribuição granulométrica.

Para determinação dos parâmetros estatísticos (média, desvio padrão, assimetria e curtose) de FOLK; WARD (1957), foi utilizado o SysGran 3.0. Posteriormente, o Surfer 8 da Golden Software, para representar em mapas a distribuição granulométrica (média, seleção/desvio padrão, assimetria e curtose). Através do Microsoft Office Excel (2007) foram gerados gráficos ilustrativos e feita a digitalização dos dados granulométricos.

4.3. Estados Morfodinâmicos

Parâmetros Morfométricos - A superposição dos perfis topográficos possibilita o cálculo dos parâmetros morfométricos: variação do volume sedimentar (V_v); declividade da face praial (β); largura da praia (Y_b) e variação da largura da praia ($D_p Y_b$), expressa em metros; e coeficiente de variação da LC ($CV Y_b$).

Ainda, foi obtido o parâmetro W_s , correspondente à velocidade de decantação das partículas sedimentares. Tais parâmetros morfométricos e adimensionais sugeridos por Short e Hesp (1982) foram calculados com o intuito de relacioná-los aos estados morfodinâmicos de Wright e Short (1984), e Masselink e Short (1993). Os modelos estabelecidos por Wright e Short (1984) utilizam-se principalmente do parâmetro Ω de Dean (1973), conhecido como velocidade de decantação adimensional, fornecendo a informação do estado morfodinâmico da praia.

Variação do Volume Sedimentar (V_v)

Foram calculadas variações do volume sedimentar, entre duas superfícies subaéreas, e variações acumuladas de volume, a partir dos primeiros dados de levantamento topográfico. De acordo com Muehe (2004), se multiplicar o valor da área, expressa em m^2 ,

por 1, ou seja, mantendo o próprio valor da área, tem-se o volume de areia por metro linear de praia, expresso em m³. Tendo-se dois perfis, paralelos entre si, pode-se calcular o volume do trecho, compreendido entre os perfis, somando as áreas dos dois perfis e multiplicando pela metade da distância entre os mesmos.

Para obtenção do volume sedimentar, expresso em m³/m, foi utilizado o Surfer 8 da Golden Software, que verificou mudanças de volume para distâncias comuns a duas superfícies.

Declividade da Face Praial (β)

A declividade da face praial, expressa em graus, foi obtida através da fórmula:

$$\text{Tan}\beta = \text{oposto/adjacente} \quad (2)$$

O dado oposto corresponde à altura e o dado adjacente corresponde à distância entre o máximo e o mínimo valor registrado do perfil praial.

Coefficiente de Variação da Linha de Costa (CVYb)

O coeficiente de variação da LC foi obtido pela relação entre o índice de mobilidade da praia e a largura da praia (Yb), como sugerido por Oliveira (2009), segundo a fórmula:

$$\text{CV}\% = \sigma Y_b / Y_b \times 100 \quad (3)$$

Velocidade de Decantação (Ws)

A velocidade de decantação de partículas sedimentares foi obtida a partir da granulometria média expressa em *fi* (DEAN, 1973; MUEHE, 2004). Segundo este último autor, a determinação da velocidade de decantação é apropriada para o estudo de sistemas processo-resposta em que são estabelecidas relações de causa e efeito entre hidrodinâmica, granulometria e topografia, como é o caso da variabilidade do perfil transversal, subaéreo e submarino de uma praia, em função de ondas e da granulometria dos sedimentos.

Classificação Morfodinâmica - utilizada foi baseada no modelo sequencial de evolução morfológica (WRIGHT; SHORT, 1984; MASSELINK; SHORT, 1993). Através do parâmetro

empírico adimensional ômega (Ω), Wright e Short (1984) relacionaram-se os estados morfodinâmicos de praia às variáveis envolvidas no nível de energia da praia:

$$\Omega = H_b/W_s * T \quad (4)$$

H_b é a altura de onda na arrebentação;

W_s é a velocidade de decantação;

T é o período médio de ondas.

De acordo com Peixoto (2005), os valores de $\Omega < 1$, caracterizam praias como reflectivas (baixa energia de onda), com intervalo entre um e seis, praias intermediárias e > 6 são praias dissipativas (alta energia de onda). Considerando-se também os efeitos relativos às marés na morfologia das praias, utilizou-se a expressão estabelecida por Davis e Hayes (1984), sugerida por Masselink e Short (1993):

$$RTR = MSR/H_b \quad (5)$$

RTR é a variação relativa da maré (Relative Tide Range);

MSR é a variação da maré;

H_b é a altura de onda na arrebentação.

De acordo com Masselink e Short (1993), com esse índice todas as praia podem ser classificadas como dominados por ondas ($RTR < 3$) ou modificados por maré ($3 < RTR < 15$). Quando $RTR > 15$ as praias tornam-se dominadas por maré e sucessivamente começam a evoluir para ambientes de planície de maré. Foram utilizados dados de marés para cada dia de experimento (DHN, 2023).

4.4. Quantificação do Transporte Longitudinal de Sedimentos

O fluxo de sedimentos que passa pela armadilha é dado por um conjunto de equações (WANG *et al.*, 1998) utilizadas para estimar o cálculo do transporte de sedimentos. O fluxo que passa entre duas redes é calculado pela equação (1). O fluxo total I que passa através de uma armadilha é calculado pela equação (2).

$$\Delta F_i = \frac{\left(\frac{F_{i+1}}{Z_{i+1}} + \frac{F_{i-1}}{Z_{i-1}} \right) \Delta Z_i}{2} \quad (6)$$

Onde ΔF_i é a quantidade de sedimentos que flui no espaço entre duas armadilhas adjacentes, F_{i+1} e F_{i-1} são as quantidades medidas pelas duas armadilhas em questão (superior e inferior), enquanto que Z_{i+1} e Z_{i-1} representam a dimensão vertical da boca da armadilha superior e inferior respectivamente (FONTOURA, 2004) (Figura 6a).

O fluxo sedimentar total que passa através de uma estação de medição é dado pela soma dos fluxos individuais (F_i) que passam por cada armadilha, somados aos fluxos nos espaços entre cada duas armadilhas adjacentes (ΔF_i) (Figura 6a). O fluxo total é calculado pela equação:

$$I = \sum_{i=1}^N (F_i) + \sum_{i=1}^{N-1} (\Delta F_i) \quad (\text{Kg/h/m}^2) \quad (7)$$

Para representação gráfica dos perfis topográficos e o cálculo do Volume sedimentar do prisma praial, foram utilizados os programas Microsoft Office Excel e o Golden Software Grapher, respectivamente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Hidrodinâmica e Ventos

Os parâmetros hidrodinâmicos (altura e período de ondas e intensidade das correntes costeiras) são mais intensos durante o período chuvoso na região (Tabela 1). No chuvoso as maiores alturas de ondas ocorrem na praia Grande (máxima 0,89 m) devido a sua maior declividade, o que contribui para a presença de ondas maiores e mais intensas neste setor (Tabela 2). Entretanto a praia de Beja é atingida pelas menores alturas de onda, já que esta praia possui características dissipativas, com baixa declividade, extensa face praial e ondas menores do tipo deslizante.

Os ventos tiveram média de 2,6 m.s⁻¹ (praia de Beja) e 2,4 m.s⁻¹ (praia Grande), com maiores intensidades na enchente (Tabela 2). Os ventos dominantes na área possuem direção NE, com variações para E no início da maré cheia (Tabela 2). Neste período as

correntes apresentaram sentido preferencial para NE durante a vazante e SW na enchente, em todas as praias (Tabela 2). As correntes são mais intensas durante a enchente, média de 0,28 m.s⁻¹ (praia Grande) e 0,34 m.s⁻¹ (praia de Beja) (Tabela 2). As correntes que ocorrem ao longo das praias deste setor não são influenciadas por ondas que incidem da face praial, como ocorre nas regiões expostas às ondas oceânicas. A direção e intensidade das correntes de maré são influenciadas principalmente por marés (enchente e vazante).

No período seco, na Amazônia há uma redução significativa da pluviosidade na região, com isso tem-se um aumento na velocidade dos ventos locais, que neste período atingiram médias de 4,7 m.s⁻¹ (praia de Beja) e 5,3 m.s⁻¹ (praia Grande). A altura das ondas diminuiu neste período, obtendo médias de 0,31 m.s⁻¹ (Beja) e 0,59 m.s⁻¹ (praia Grande), a diminuição da altura da onda está relacionada com a redução da energia hidrodinâmica no seco, que apresenta atenuação acentuada das correntes (Tabela 2).

Tabela 1: Parâmetros hidrodinâmicos nas praias do Beja (Abaetetuba) e Grande (Barcarena) nos períodos chuvoso e seco.

Área	Período	Ondas			Ventos		Correntes de maré	
		Altura(m)	Período(s)	Direção	Vel.(m.s ⁻¹)	Direção	Vel.(m s ⁻¹)	Direção
Praia Beja	Chuvoso	0,54	3,6	NW	2,6	NE	0,34	NE/SW
Praia Beja	Seco	0,31	2,9	NW	4,7	NE	0,28	NE/SW
Praia Grande	Chuvoso	0,71	3,7	NW	2,4	ENE	0,28	NE/SW
Praia Grande	Seco	0,59	2,8	WNW	5,3	NE	0,22	NE/SW

5.2. Morfologia da Praia de Beja

A praia de Beja é uma praia de mesomaré, com 0,97 km de extensão e orientação SW – NE, com baixa declividade (<1°) e largura variando entre 150 e 360 m (Figura 3). Ocorre uma alta erosão na face praial, principalmente nos setores central e NE, com ausência de berma praial (destruída). O setor SW é o único com acreção da LC.

No período chuvoso, a praia é influenciada por ondas e correntes de maré mais intensas e apresenta uma face praial com declividade média de 0,37° e largura média de 190 m (Figura 3). A praia de Beja possui características de praias dissipativas, com extensa largura e baixa declividade da face praial. Na praia ocorre um sistema de calha-barras no final das zonas de intermarés e de inframaré ao longo dos setores Central e NE (Figura 3), que também são características de praias dissipativas.

Na transição do período chuvoso para o seco, a energia hidrodinâmica que atua ao longo da LC reduz o que faz com que aumente a deposição sedimentar na face praial. Em

resposta à essa condição hidrodinâmica, a praia apresentou um aumento significativo na linha de costa, com média 270 m e Coeficiente de Variação de LC (CV%) de 19,3%. Neste período, observa-se uma diminuição na declividade da face praial, que neste período teve média de 0,23°.

O sistema calha-barra que era presente na zona de intermarés média e inferior no período chuvoso, migrou para zona de intermarés superior no seco, em consequência, os canais que eram bem evidentes no chuvoso foram afogados e as barras foram erodidas (Figura 3). A praia de Beja não possui integralmente características de uma praia comum. Ao longo das últimas décadas, com o aumento da erosão da LC na área, foi implantada uma orla de pouco menos de 1 km de extensão, que soterrou grande parte da zona de intermaré superior e a zona de intermaré, fazendo com que esta praia se estenda apenas da zona de intermaré até a zona de inframaré, ou seja, a supramaré está ausente (Figura 4). Este processo pode estar barrando o trânsito *crossshore* de sedimentos, entre a zona de espraiamento e o pós-praia, ocasionando um déficit de sedimentos na praia, o que agrava ainda mais a erosão local.

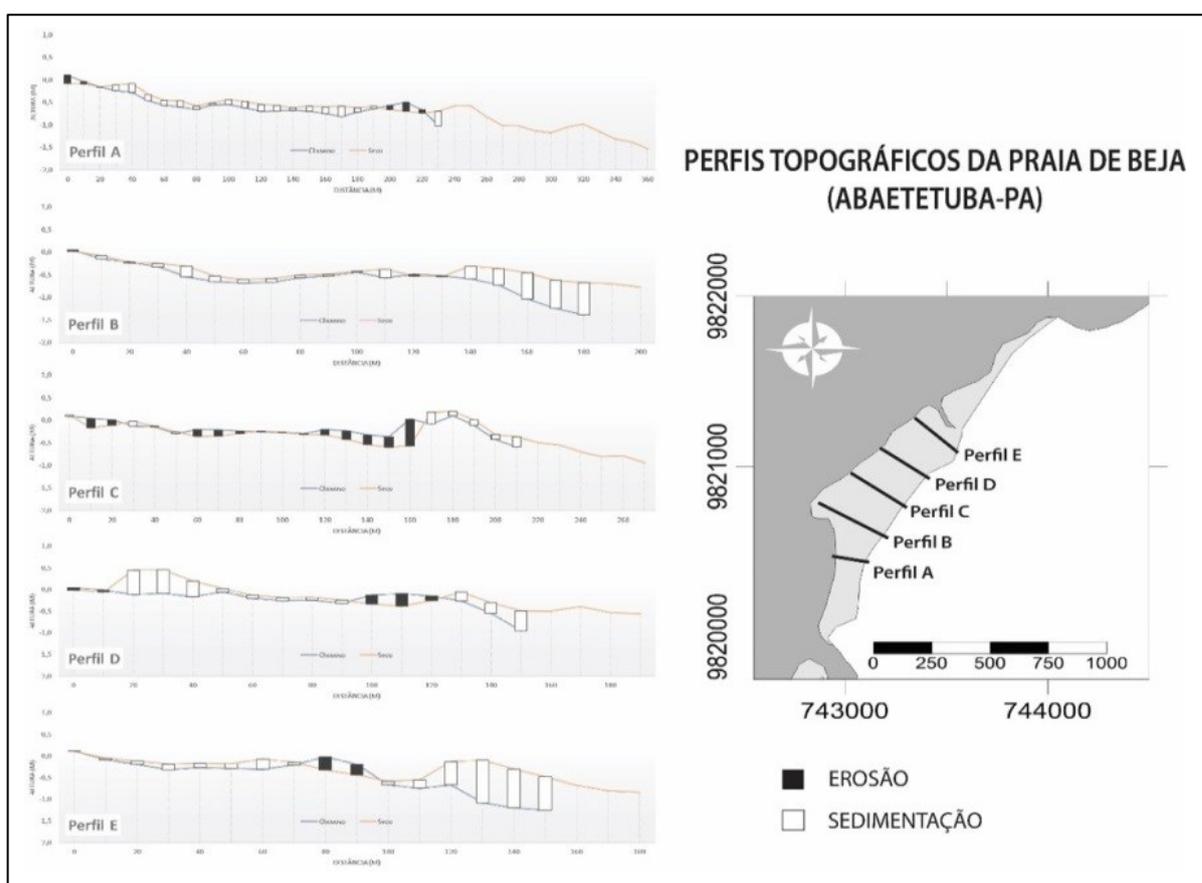


Figura 3 - Perfis topográficos (A, B, C, D, E) na praia de Beja (Abaetetuba).



Figura 4 - Setor central da praia de Beja. (A) momentos de baixamar e (B) de preamar.

Fonte: Acervo GEMC.

5.3. Morfologia da Praia Grande

A Praia Grande (município de Barcarena), com orientação SW-NE, possui 1,4 km de extensão, onde foram observados indícios de recuo de falésias no setor NE. No final do setor SW, ocorre um afloramento rochoso (Figura 6a), que junto com as falésias (Figura 6b), dão a esta praia um desenho semi-côncavo. Esta praia apresenta um perfil topográfico bastante íngreme (Figura 5), resultante da erosão da face praial, gerada por ondas mais altas e do tipo mergulhante. Um berma suave se forma ao longo dos 2 períodos analisados e há ausência de calhas e barras na face praial (Figura 5), que dá à a praia características reflectivas.

Na transição entre os períodos chuvoso e seco, há uma diminuição da declividade, que apresentou média de $6,07^\circ$ e $4,11^\circ$, respectivamente. Esta redução é característica do seco, pois neste período, a energia hidrodinâmica atuante na praia reduz, o que propicia o aumento da deposição sedimentar e uma consequente diminuição da declividade.

A variação de largura média da praia entre os períodos foi de 34 m, com (CV%) média ao logo da praia de 20,48%. No período seco se desenvolve uma larga planície de inframaré no final do perfil J (setor NE) (Figura 6c), esta morfologia é característica de praias intermediárias, o que denota a este setor características bastante distintas dos demais setores. Esta planície de inframaré com gradiente quase plano, expõe uma fina camada de sedimentos lamosos.

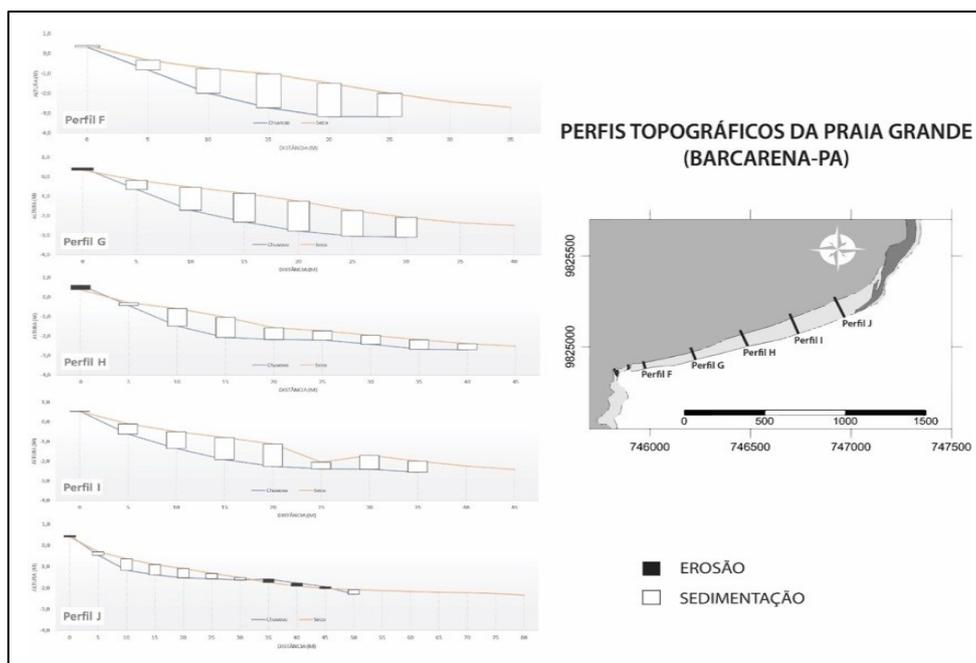


Figura 5 - Perfis topográficos (F, G, H, I, J) na praia Grande (Barcarena).

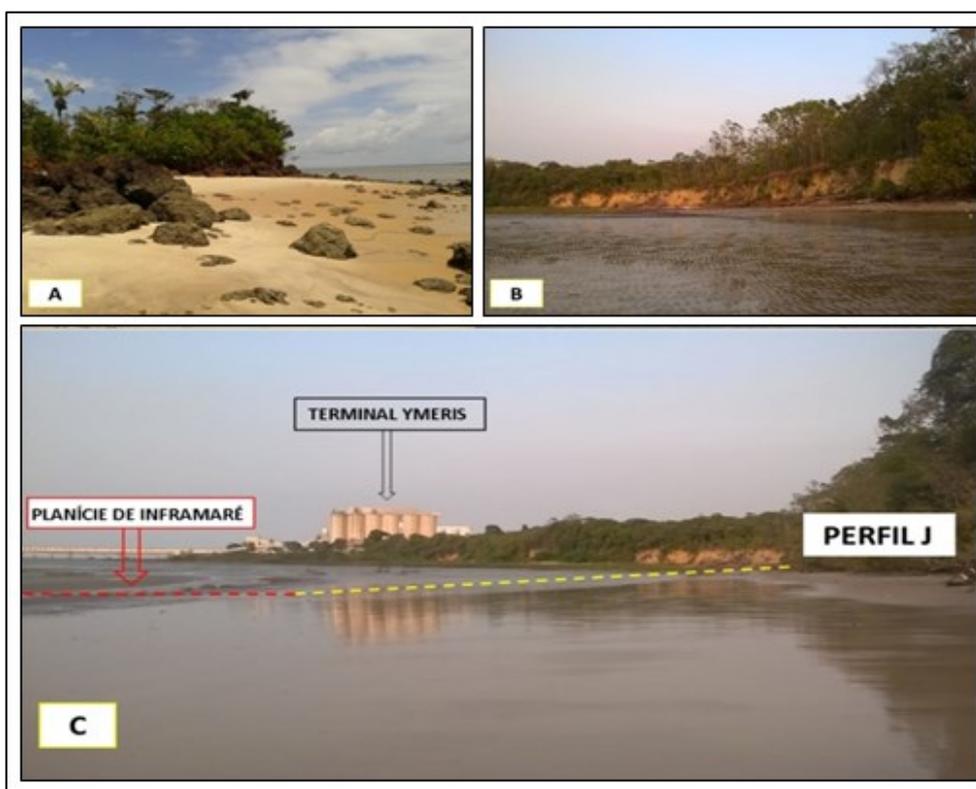


Figura 6 - (A) Afloramento rochoso no setor SW, (B) Falésias do setor NE e (C) Perfil J, com destaque para a planície de inframaré. Fonte: Acervo GEMC.

5.4. Distribuição Espacial dos Parâmetros Granulométricos da Praia de Beja

A média granulométrica indica a tendência central do tamanho dos grãos de um sedimento, fornecendo dados sobre a energia cinética média do agente de deposição

(FOLK; WARD, 1957). Os menores valores correspondem a trechos mais vulneráveis à erosão das dunas na zona de supramaré. Os sedimentos que recobrem a praia de Beja são compostos por mais de 97 % de areia média nos 2 períodos, com média de 1,084–1,976 phi (chuvoso) e 1,124-1,905 phi (seco), e diminuição do tamanho dos grãos (areia fina – areia muito fina) principalmente na zona de inframaré e no canal situado na zona de intermaré média, que corta quase toda extensão da praia.

Em geral, há um leve decréscimo na granulometria nesta praia (direção à água) nos dois períodos (Figura 7). No seco, na zona de intermaré superior, ocorreu uma faixa de cascalhos entre os perfis A e C, estes cascalhos são provenientes, principalmente do aterro (localizado no perfil E), utilizados para construir o muro de contenção, que são transportados para o setor SW da praia por maré (Figura 7).

O grau de seleção ou desvio padrão (σ) está relacionado ao selecionamento da amostra, em relação ao transporte e deposição (FOLK; WARD, 1957). Depósitos que contêm pequenas variações de tamanho de partículas são referidos como bem selecionados. Os sedimentos superficiais de Beja são compostos essencialmente por grãos moderadamente selecionados nos dois períodos, entretanto, no período chuvoso há aumento de sedimentos bem selecionados em direção ao setor SW, que caracteriza um transporte sedimentar na direção NE-SW. Já no seco, o aumento da seleção dos sedimentos se dá para NE, caracterizando o transporte com direção SW-NE neste período (Figura 7).

A assimetria (S_{ki}) apresentou sedimentos variando de -0,24 (negativa) a 0,21 (positiva) no período chuvoso e sedimentos variando de -0,36 (muito negativa) a 0,26 (positiva), com predominância de grãos com assimetria negativa neste período (Figura 7). A assimetria traduz a posição da mediana em relação à média aritmética (FOLK; WARD, 1957). Valores positivos indicam um excesso de partículas finas e em contraste, uma assimetria negativa significa um excesso de partículas mais grossas. Ou seja, houve aumento na quantidade de partículas maiores no período seco, que indica que houve remoção de sedimentos finos na praia. Sedimentos com assimetria negativa ocorrem principalmente na zona de intermaré superior e intermaré, indicando remoção de sedimentos. O setor SW (perfis A e B) (Figura 7) apresentou os principais valores negativos, o que significa que este setor da praia está sofrendo com uma maior perda de sedimentos.

A curtose é relacionada com sucesso ao nível de energia das ondas ou ao nível de energia do ambiente deposicional, sendo inversamente proporcionais. A curtose foi heterogênea longitudinalmente na praia, com predominância de características

leptocúrticas (Figura 7), que indicam que a praia está sob forte influência erosiva. Os principais pontos de erosão se encontram na zona de intermarés no período chuvoso (setor SW e central) e na inframaré superior (próximo à orla) durante o seco (Figura 7).

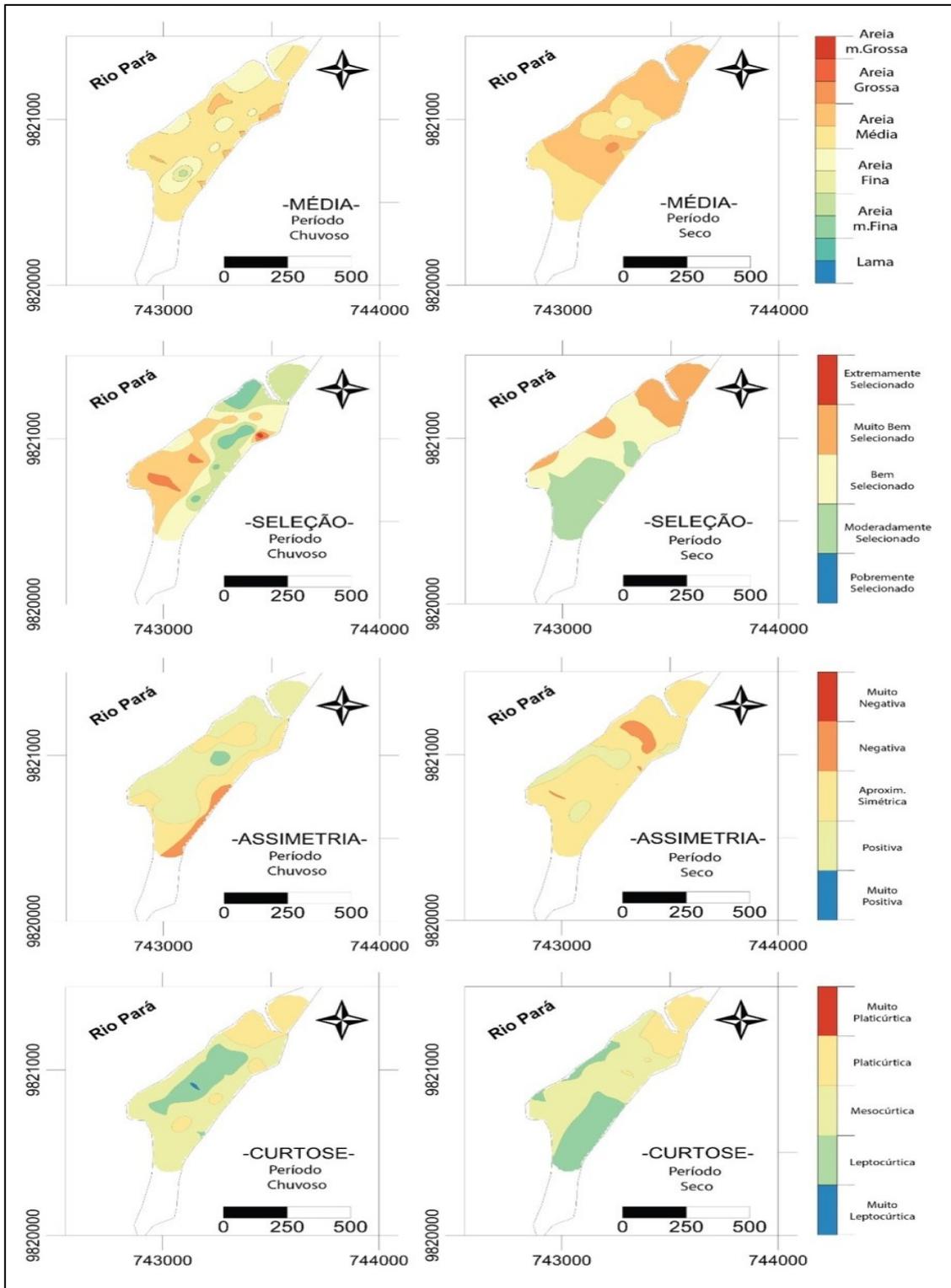


Figura 7 - Distribuição espacial dos parâmetros estatísticos de granulometria (Média, Seleção, Assimetria, Curtose) na praia de Beja nos períodos chuvoso e seco.

5.5. Distribuição Espacial dos Parâmetros Granulométricos da Praia Grande

Na praia Grande (Barcarena), 85% dos sedimentos superficiais são compostos por areia média (1,283-1,948 phi), apenas na zona de inframaré do setor NE que os sedimentos foram caracterizados como areia muito fina no período seco (Figura 8). Neste setor da praia onde ocorreu diminuição do tamanho dos grãos, tem-se um extenso terraço de baixamar, sua baixa topografia favorece a diminuição da energia das ondas e conseqüentemente aumenta a deposição de sedimentos mais finos.

O grau de seleção variou de 0,350 (bem selecionado) a 1,39 (mal selecionado) no período chuvoso e de 0,865 (moderadamente selecionado) a 0,327 (muito bem selecionado) no seco (Figura 8). Na transição entre os períodos, houve aumento da seleção dos grãos em 30% do total, em regra geral, os estudos sobre o desvio padrão apontam um transporte de sedimentos em direção à zona de supramaré, já no período chuvoso, o desvio padrão demonstra que há saída de sedimentos em direção à LC, que é causado pelo caráter erosivo das ondas durante este período, que retiram sedimentos da zona emersa da praia e depositam na parte submersa.

Quanto a Assimetria, os sedimentos foram predominantemente de assimetria positiva e aproximadamente simétricos ao longo da praia no período chuvoso, e na zona de inframaré os sedimentos são exclusivamente compostos de assimetria negativa, denotando a este setor, características erosivas, com perda de sedimentos finos e predominância de sedimentos grosseiros (Figura 8). No período seco os sedimentos da face praial foram compostos principalmente por grãos de assimetria negativa, ou seja, com predominância de grãos grosseiros.

A curtose no período chuvoso variou entre sedimentos leptocúrticos (1,14) e muito platicúrticos (0,39), com predominância de características platicúrticas em toda praia. Os maiores valores de curtose (leptocúrtica) estão localizados no setor SW, onde a LC é menos abrigada das ondas, e possui um caráter mais erosivo. No período seco houve predomínio de sedimentos platicúrticos e mesocúrticos, totalizando 62% do total. O comportamento da curtose no período seco evidencia que houve diminuição da energia do agente erosivo ao longo desta praia (Figura 8).

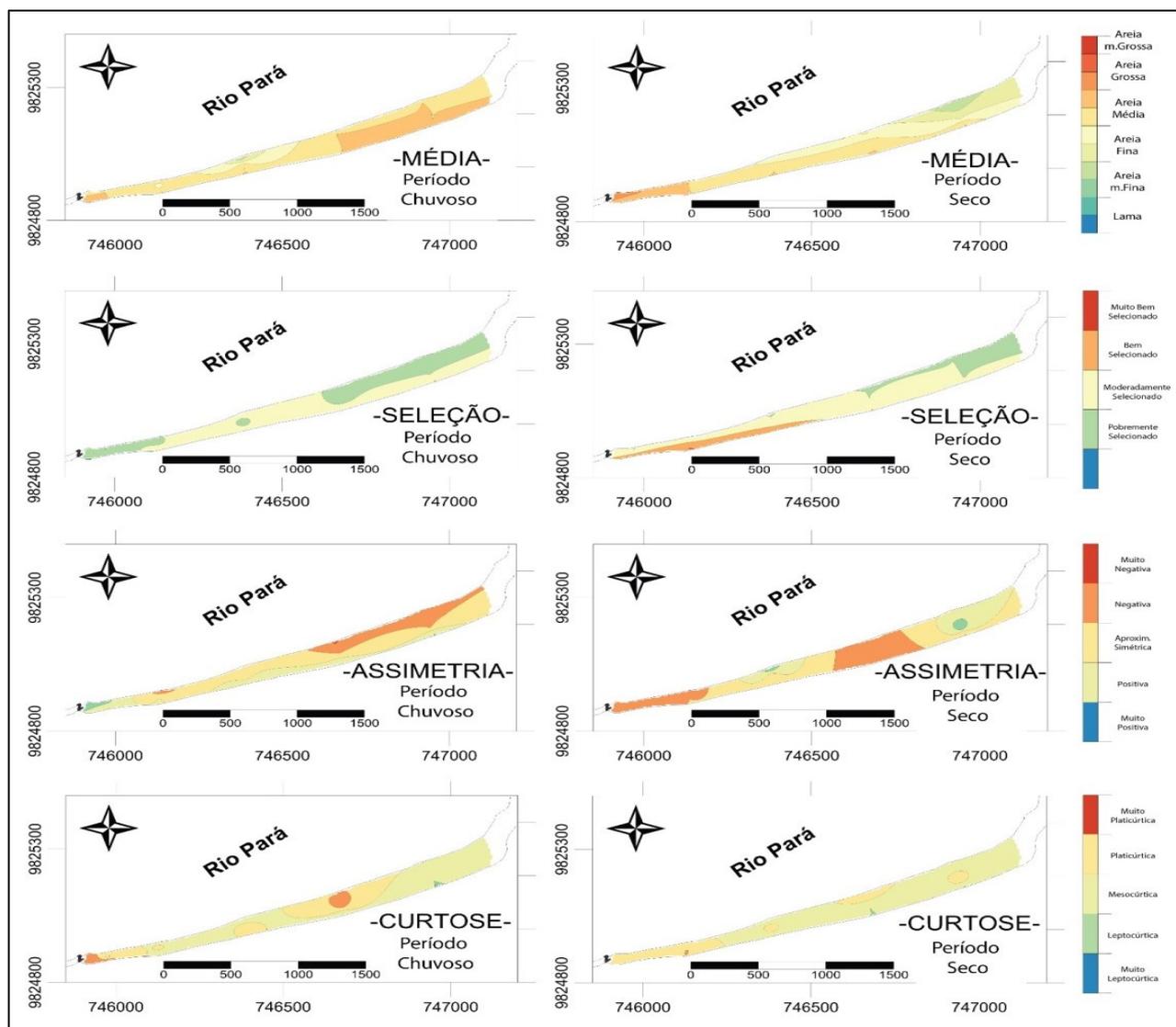


Figura 8 - Distribuição espacial dos parâmetros estatísticos de granulometria (Média, Seleção, Assimetria, Curtose) na praia Grande, nos períodos chuvoso e seco.

5.6. Balanço Sedimentar Sazonal

Através da superposição dos perfis topográficos entre os períodos chuvoso e seco foi possível calcular o balanço sedimentar (perda e ganho) entre as praias. Na transição entre os períodos analisados, ocorreu ganho sedimentar “engordamento” nas duas praias. A praia de Beja apresentou maior estoque sedimentar no prisma praial, com valores de 564,75 m³/m (período chuvoso) e 719,03 m³/m (seco), totalizando um balanço sedimentar positivo de 154,28 m³/m (Figura 9). A praia grande, por ser uma praia reflectiva com uma curta linha de praia, apresentou os menores estoques sedimentares, com valores de 138,51 m³/m (período chuvoso) e 245,33 m³/m (seco), tendo balanço sedimentar positivo de 106,83 m³/m (Figura 9). O “engordamento” de praias no período seco é comum no litoral amazônico (EL ROBRINI *et al.*, 2018), na Ilha do Marajó (FRANÇA *et al.*, 2007), ilha de Mosqueiro (EL-

ROBRINI, 2001), ilha dos Guarás (RANIEIRI e EL-ROBRINI, 2012), Salinópolis (RANIEIRI; EL ROBRINI, 2015; 2016; 2020).

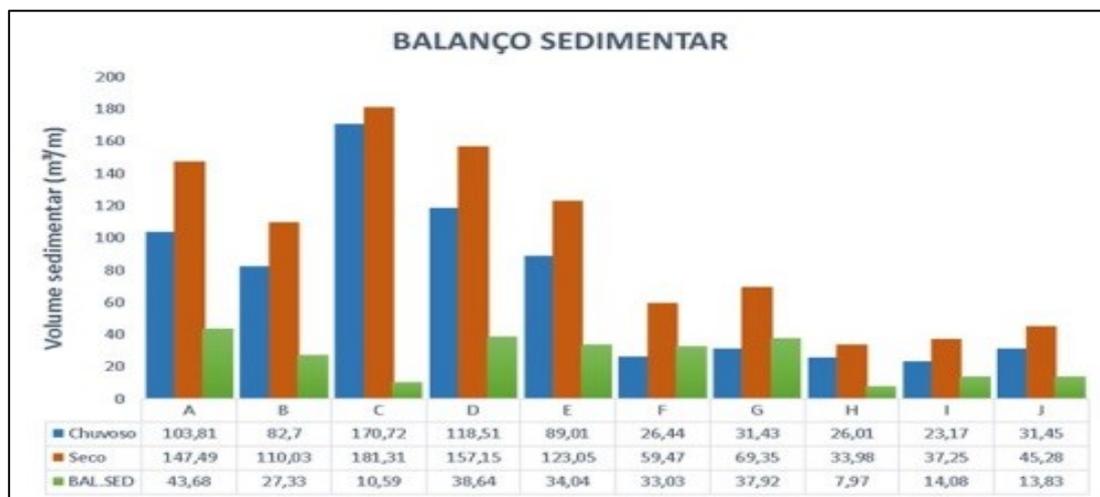


Figura 9 - Balanço sedimentar nas praias de Beja (A, B, C, D, E) e Grande (F, G, H, I, J).

5.7. Transporte de Sedimentos

O transporte longitudinal sedimentar nas praias de Beja e Grande é condicionado pelo efeito das marés, que tem direção das correntes predominantemente no sentido SW/WSW durante as enchentes e de ENE/NE na vazante, acompanhando a Linha de Costa. A direção do transporte é influenciada pela entrada da maré no estuário do rio Pará, tendo direção NE na vazante e SW na enchente nos dois períodos (chuvoso e seco) (Figura 10). No período chuvoso a carga sedimentar é maior na praia de Beja, que atingiu 464 (10-2Kg/min/m³) na vazante e 456 (10-2Kg/min/m³) na enchente. Na praia Grande o transporte sedimentar foi de 450,6 (10-2Kg/min/m³) na vazante e 276,4 (10-2Kg/min/m³) na enchente (Figura 10). Em geral, a maior quantidade de sedimentos transportados no período chuvoso ocorre durante a maré vazante, quando grande quantidade de sedimentos é trazida pelo estuário do rio Pará, o que explica a maior quantidade de sedimentos lamosos (silte/argila) presente nos sedimentos retidos nas redes do “traps”.

No período seco houve uma brusca redução na carga de sedimentos envolvidos no transporte longitudinal. O transporte sedimentar foi maior em Beja, com carga total de 103,1 (10-2Kg/min/m³) na vazante e 120,6 (10-2Kg/min/m³) na enchente. A carga sedimentar na praia Grande foi menor, com total de 92,4 (10-2Kg/min/m³) na vazante e 26,5 na enchente (10-2Kg/min/m³) (Figura 10). A diminuição na carga de sedimentos transportada longitudinalmente ao longo das praias pode estar relacionada com a menor descarga dos rios no período seco, o que faz com que menos sedimentos sejam transportados pelas

correntes, que está relacionado também com a diminuição de sedimentos lamosos retidos nas redes.

A medição da corrente longitudinal, feita antes da instalação dos *traps* na zona de surf mostra que as maiores intensidades de correntes ocorrem na praia Grande, entretanto, a maior carga sedimentar ocorre na praia de Beja, devido à influência do canal de maré de Arienga (setor NE desta praia) (Figura 10), que faz com que uma quantidade maior de sedimentos seja transferida por corrente longitudinal.

Outro determinante para a maior quantidade de sedimentos em suspensão nas correntes está ligado com o grande estoque de sedimentos na parte subaquática da praia de Beja, que disponibiliza uma maior quantidade de sedimentos para o transporte longitudinal e ortogonal (*Crossshore*).

Para carga sedimentar transportada na coluna d'água, observa-se que em todos os experimentos, seja na vazante como na enchente, os maiores valores ocorrem próximo ao fundo (transporte por arrasto) (Figura 10). Segundo Fontoura (2004), os maiores transportes ocorrem quase sempre, próximos ao fundo, diminuindo gradativamente em direção à superfície, onde 50-80% do transporte é realizado na camada entre o fundo.

Apesar da carga de sedimentos estar maior próximo ao fundo, a relação entre o transporte de fundo e o de superfície não tiveram tanta discrepância na praia de Beja. Houve apenas um decréscimo em direção à superfície (Figura 10), que pode estar relacionado com a alta turbulência da zona de surfe em praias de macromaré de Algodal (Silva, 2015), atribuindo esta homogeneização dos sedimentos entre as camadas, com a baixa profundidade da zona de surfe, que favorece a mistura das camadas próximas ao fundo com as demais, devido à forte turbulência nesta zona.

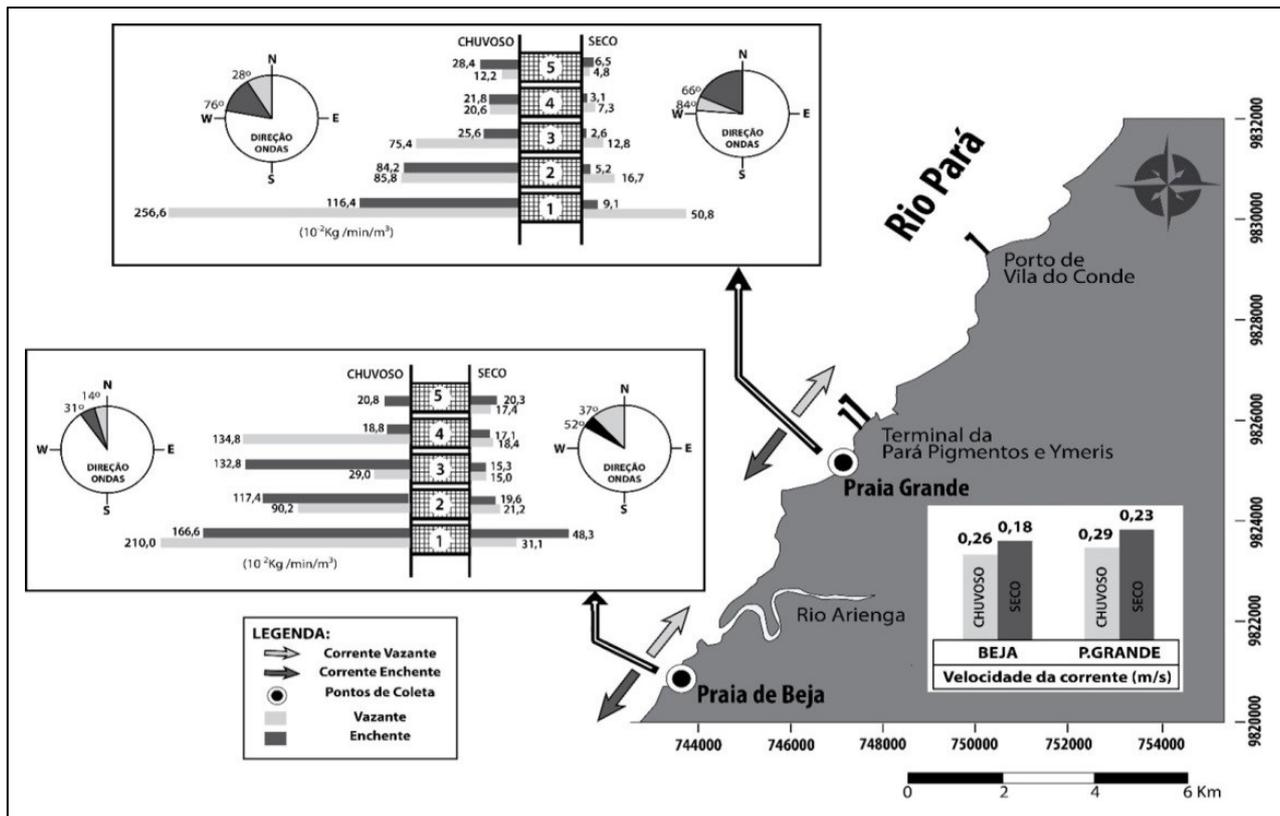


Figura 10 - Transporte sedimentar nas praias de Beja (Abaetutuba) e Grande (Barcarena), durante os períodos chuvoso e seco.

5.8. Morfodinâmica Sazonal

A morfodinâmica praial é controlada pelas variações sazonais da precipitação, clima de ondas, da altura de maré e pelas características dos sedimentos. Segundo o modelo de Wright e Short (1984), as duas praias foram caracterizadas como praias intermediárias (Tabela 2). Beja possui classificação de praia intermediária com bancos transversais (BTR) no período chuvoso e no seco foi classificada como intermediária com terraço de baixamar (BTM). Não foi observado um terraço de baixamar em Beja, entretanto, esta praia possui um gradiente quase plano no período seco, que pode dar a esta praia características de terraço de baixamar. Ainda pelo modelo de Wright e Short (1984), a praia Grande é classificada como intermediária com banco e calha longitudinal nos dois períodos (Tabela 2), entretanto, a morfologia de calha e barras longitudinais não é característica desta praia, tendo sido identificado esta feição apenas no perfil I (Figura 1), no período seco.

Para aferir a morfodinâmica local foi analisado também o modelo de Masselink e Short (1993), que utiliza o parâmetro relativo de maré (RTR), para praias submetidas a regimes de meso e macromarés, na qual se inserem as praias de Beja e Grande. Segundo este modelo, a praia de Beja é dominada por marés, possuindo no período chuvoso calhas e barras de baixamar e no chuvoso, adquire características de praias ultradissipativas (Tabela

2). Segundo os mesmos autores as praias ultradissipativas possuem baixa declividade com longa zona de surf e ondas deslizantes, podendo ou não conter barras durante o período com menos pluviosidade, características que estão presentes nesta praia no período seco.

A praia Grande sofre influência da interação de ondas e marés, que durante a preamar possui características reflectivas, com ondas de energia moderada incidindo diretamente na face praial e durante a baixamar apresenta um perfil gradando para um terraço de baixamar nos dois períodos (Tabela 2).

Tabela 2 - Estados morfodinâmicos das praias de Beja e Grande.

Praias	P.	Wright e Short	Masselink e Short
		(1984)	(1993) RTR
P. Beja	Chuvoso	3,03	6,85
	Seco	2,12	14,19
P. Grande	Chuvoso	4,56	5,21
	Seco	4,81	6,67

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A área de estudo está submetida a um regime de mesomaré semi-diurna. Os ventos atuam na direção preferencial de E-SE. As ondas dominantes são do tipo deslizante de baixo período e provenientes de NW-W na praia de Beja e do tipo mergulhante de baixo período, provenientes de NW na praia Grande. A corrente de transporte sedimentar é bidirecional e varia de acordo com o ciclo de maré, possuindo direção NE na vazante e SW na enchente em todas as praias.

Estas praias possuem características distintas, a de Beja possui característica dissipativa/intermediária, com baixa declividade, extensa largura de praia, larga face praial e extensa zona de surfe, onde imperam ondas do tipo deslizante. A praia Grande possui característica reflectiva/intermediária, com alta declividade e face praial bem mais curta, com ondas mergulhantes na preamar, migrando para ondas deslizantes na baixamar. O setor NE desta praia (próxima do Terminal Portuário) tem extensa planície de inframaré, onde ocorre um terraço de baixamar, tornando-se mais extenso no período seco.

A granulometria da área é similar, com predominância de areia média e moderadamente selecionada. Os parâmetros estatísticos granulométricos apontaram uma intensa zona de alta energia no setor SW da praia de Beja. Nesta parte desta praia ocorre intensa erosão. Na praia Grande, não foi detectado nenhum efeito expressivo de alta energia, pelo contrário, nesta praia ocorre uma maior deposição de sedimentos.

A análise do desvio padrão nos sedimentos superficiais também aponta um trânsito sedimentar *crosshore* ao longo do perfil praial. No período chuvoso há um deslocamento de sedimentos em direção à parte submersa da praia, estes sedimentos são provenientes da erosão da face praial, causada por ondas neste período. No período seco ocorre o inverso, quando há diminuição da energia das ondas, os sedimentos estocados na parte submersa da praia retornam novamente para face praial, diminuindo a declividade e aumentando a largura da praia.

O transporte longitudinal na área é bidirecional e indica uma resultante para NE. Durante a vazante a direção da corrente é influenciada pela vazão do rio Pará, assumindo uma direção NE e durante a enchente, a direção do transporte é condicionado pela maré que adentra o estuário, assumindo uma direção SW. A carga sedimentar extremamente maior no período chuvoso, devido à influência do estuário do rio Pará e outros tributários, que trazem uma maior quantidade de sedimentos em suspensão neste período, ocasionado pela alta pluviosidade ao longo da bacia do rio Tocantins, que faz com que os rios aumentem a carga sedimentar em suspensão. Este comportamento do transporte longitudinal é evidenciado pela maior quantidade de sedimentos lamosos coletados na corrente no período chuvoso.

A praia de Beja está submetida a uma severa erosão na sua LC, este fator é de grande preocupação no âmbito socioeconômico da localidade. A erosão está cada vez mais afastando os turistas e gerando problema social. Um dos grandes problemas identificados na praia é a disposição da orla, que afogou a zona de intermaré superior e a supramaré da praia, o que interrompeu o trânsito sedimentar *crosshore*. Este transporte é um dos principais na manutenção da normalidade em um perfil praial, pois o que acontece na área é que parte do sedimento que é transportado para a pós-praia (acima da orla), não retorna para as zonas inferiores, o que ocasiona um déficit de sedimentos na praia.

REFERÊNCIAS

ALVAREZ-ELLACURIA, A. *et al.* A Nearshore Wave and Current Operational Forecasting System. **Journal of Coastal Research**, v. 263, p. 503–509, 2010.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Sistema de monitoramento hidrológico**. 2023. Disponível em: <http://bancodedados.cptec.inpe.br>. Acesso em: 14 mar. 2023.

ANFUSO, G.; GRACIA, F. J. Morphodynamic characteristics and short term evolution of a coastal sector in SW Spain: implications for coastal erosion management. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 6, p. 1139-1153, 2005.

AYODELE, S. O.; MADUKWE, Y. H. Granulometric and Sedimentologic Study of Beach Sediments, Lagos, Southwestern Nigeria. **International Journal of Geosciences**, v. 10, p. 295-316, 2019.

BENAVENTE, J. *et al.* Coastal flooding hazard related to storms and coastal evolution in Valdelagrana spit (Cadiz Bay Natural Park, SW Spain). **Continental Shelf Research**, v. 26, p. 1061-1076, 2006.

BIRKEMEIER, W. Field data on seaward limit of profile change. *Journal of Waterway, Port. Coastal and Ocean Engineering*, v. 111, n. 3, p. 598-602, 1985.

BITTENCOURT, L. A. **Morfodinâmica da praia estuarina do Cajuúna, Soure, Marajó – Pará**. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado em Geologia em Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2016.

COSTA J. B. S. *et al.* Aspectos da Tectônica Cenozóica da Região do Salgado, Litoral nordeste do Estado do Pará. In: SBG, **Núcleo Norte, Simp. Geol. Amaz.**, v. 3, p. 156, 1991.

COWELL, P. J.; THOM, B. G. Morphodynamics of coastal evolution. In: CARTER, W. G.; WOODROFFE, C. D. (Eds.), **Coastal evolution, Late Quaternary shoreline morphodynamics**. Cambridge: Cambridge University Press, 1997. p.33-86.

DEAN, R. G. Heuristic models of sand transport in the surf zone. In: Conference on engineering dynamics in the surf zone, Sydney. **Institute of Engineers**, 1973. p. 208-214.

DHN - DEPARTAMENTO DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Tábuas de Marés**. Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>. Acesso em: 8 jan. 2023.

EL-ROBRINI, M. *et al.* Panorama da Erosão Costeira no Pará. In: MUEHE, D. (Org.). **Panorama da Erosão Costeira no Brasil**, 2018. p. 65-166.

EL-ROBRINI, M. H. S. **Estudo da variabilidade morfo-sedimentar sazonal de praias estuarinas - Ilha de Mosqueiro**. 2001. 69 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2001.

ERIKSON, L. *et al.* Climate change-driven cliff and beach evolution at decadal to centennial time scales. **Coastal Dynamics**, n. 210, p. 125-136, 2017.

FOLK, R. L.; WARD, W. C. Brazas River bar: a study in the significance of grain size parameters. **Journal of sedimentar petrology**, v. 27, p. 3-26, 1957.

FONTOURA, J. A. S. **Hidrodinâmica costeira e quantificação do transporte longitudinal de sedimentos não coesivos na zona de surfe das praias adjacentes aos molhes da Barra do Rio Grande, RS, Brasil (aplicação às praias do Cassino, Mar Grosso e adjacências dos Molhes Leste e Oeste da embocadura do estuário da Lagoa dos Patos)**. 2004. 273 f. Tese (Doutorado Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

FRANÇA, C. F. *et al.* Análise faciológica e estratigráfica da planície costeira de Soure (margem leste da ilha de Marajó-PA), no trecho compreendido entre o canal do Cajuúna e o estuário Paracauari. **Acta Amaz.**, v. 37, n. 2, p. 261-268, 2007.

INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Estação Automática de Bragança**. Precipitação total. Disponível em: www.inmet.gov.br. Acessado em: 3 jan. 2023.

KRAUS, N. C. Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rates in the surf zone. **Journal of Coastal Research**, v. 3, n. 2, p.139-152, 1987.

KRUMBEIN, W. C. The application of logarithmic moments to size frequency distribution of sediment. **Journal of Sedimentary Petrology**, v. 6, p. 35-47, 1936.

LATAPY, A. *et al.* Influence of shoreface morphological changes since the 19th century on nearshore hydrodynamics and shoreline evolution in Wissant Bay (northern France). **Marine Geology**, v. 422. p. 1-17, 2020.

LIRA, C. P. *et al.* Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years: an integrated approach. **Earth Syst. Sci.**, v. 8, p. 265–278, 2016.

LUIJENDIJK, A. *et al.* The State of the World's Beaches. **Nature Sci. Rep.**, v. 8, p. 1-12, 2018.

MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The Effect of Tide Range on Beach Morphodynamics and Morphology: A Conceptual Beach Model. **Journal of Coastal Research**, v. 9, p. 785–800, 1993.

MIRANDA, L. B. *et al.* Fundamentals of estuarine physical oceanography. **Gateway East: Springer**, v. 8, p. 480, 2017.

MUEHE, D. Definição de limites e tipologias da orla sob aspectos morfodinâmico e evolutivo. In: Ministérios do Meio Ambiente e do Planejamento, Orçamento e Gestão. **Projeto Orla: subsídios para um projeto de gestão**. Brasília: MMA e MPO, 2004. p.13-32.

MUEHE, D. Pós-praia não deve ser traduzido como backshore – uma revisão da terminologia brasileira do sistema praia - antepraia. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 10, n. 1, p. 40-43, 2019.

NITTROUER, C. A.; WRIGHT, L. D. Transport of particles across continental shelves. **Reviews of Geophysics**, v. 32, 85-113, 1994.

OLIVEIRA, U. R. **Relações entre a morfodinâmica e a utilização em trechos da costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil**. Florianópolis. 2009. 222 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

PEIXOTO, J. R. V. **Análise da morfossedimentar da Praia do Santinho e sua relação com a estrutura e dinâmica da vegetação “pioneira” da duna frontal, Ilha de Santa Catarina, Brasil**. 2005. 93 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

RANIEIRI, L. A.; EL ROBRINI, M. Morfologia e Sedimentação em Praias Oceânicas da Amazônia Oriental durante a Variação Anual de Chuvas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2086-2102, 2020.

RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Avaliação experimental de métodos de armadilhas de sedimentos para determinação do transporte costeiro da Praia da Romana, Ilha dos Guarás (Nordeste do Pará). **Geociências**, v. 31, p. 103-116, 2012.

RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, p. 207-226, 2015.

RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Quantificação de sedimentos transportados por correntes nas praias oceânicas de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Geociências**, v. 35, n. 3, p. 457-471, 2016.

ROSSETTI, D. F.; TRUCKENBRODT, W.; GÓES, A. M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na região Bragantina, nordeste do Pará. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**, Série Ciências da Terra 1, p. 25-74, 1989.

SANTOS, K. S. *et al.* Comportamento Hidrodinâmico de Recursos Hídricos com e sem Influência da Maré na Região Amazônica. **R. Gest. Sust. Ambient.**, Florianópolis, v. 8, n. 2, p. 230-249, 2019.

SCOTT, T.; MASSELINK, G.; RUSSELL, P. Morphodynamic characteristics and classification of 685 beaches in England and Wales. **Marine Geology**, v. 286, n. 1-4, p. 1-20, 2011.

SHORT, A. D. Beaches. In: SHORT, A. D. (Ed.). **Handbook of beach and shoreface morphodynamics**. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. p. 1-19.

SHORT, A.D.; HESP, P. A. Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. **Marine Geology**, v. 48, p. 259-284, 1982.

SILVA SANTOS, M. *et al.* Análise da distribuição espaço-temporal da chuva, na mesorregião metropolitana de Belém-Pará: contribuições da técnica de sensoriamento remoto **Caminhos de Geografia**, v. 18, p. 49–58, 2017.

SILVA, P. V. M. **Estudo da morfodinâmica sazonal e quantificação de transporte sedimentar costeiro nas praias de Fortalezinha e Princesa, Algodal/Maiandua (Nordeste do Estado do Pará)**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

UTIDA, G. *et al.* Tropical South Atlantic influence on Northeastern Brazil precipitation and ITCZ displacement during the past 2300 years. **Scientific Reports**, v. 9, p. 1-8, 2019.

WANG, P.; KRAUS, N.C.; DAVIS, R. A. Total longshore sediment transport rate in the surf zone: Field measurements and empirical predictions. **Journal of Coastal Research**, v. 14, n. 1, p. 269-282.

WRIGHT, L.; SHORT, A. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 93-118, 1984.

Recebido: 15.02.2023

Aceito: 14.08.2023