

Processos morfodinâmicos em uma praia de macromaré no litoral amazônico

Morphodynamic processes in a macrotidal beach in the Amazon littoral

Suellen Mara Oliveira de Oliveira^{ac}, Luci Cajueiro Carneiro Pereira^{ad}, Ana Vila-Concejo^{be}

^aUniversidade Federal do Pará, ^bThe University of Sydney
^csuellenmaraoliveira@yahoo.com.br, ^dcajueiro@ufpa.br, ^eana.vilaconcejo@sydney.edu.au

Resumo

Processos oceanográficos na zona costeira amazônica resultam da integração de várias forçantes (e.g., macromarés, moderada energia de ondas, correntes de elevada intensidade, alta descarga fluvial e ventos de fortes intensidades) que são responsáveis por contínuas mudanças no perfil praiado. O objetivo deste estudo foi compreender as mudanças na morfologia praiado relacionadas a parâmetros como a elevação da maré (TR), a altura da onda (H_b), o período da onda (T) e a velocidade de queda adimensional dos sedimentos (w_s). O estudo foi realizado em uma praia arenosa (praia de Ajuruteua-PA) durante períodos equinociais (março de 2009, coincidindo com o período chuvoso e setembro de 2009, período seco) e não equinocial (dezembro de 2008, período seco e junho de 2009, período chuvoso). Equipamentos oceanográficos foram fundeados por 25h em cada mês de coleta. As amostras superficiais de sedimentos foram coletadas ao longo do perfil de praia, entre a zona de dunas e o início da antepraia. Em laboratório, a granulometria foi realizada utilizando um agitador automático com peneira variando de -1.0 to 4.0 ϕ . As marés são semi-diurnas e assimétricas, com períodos de vazantes mais longos (6,5 e 7,5 h). A oscilação da maré durante as sizíguas varia entre 4,0 e 5,5 m. Na área predomina a corrente de maré com direção SE-NW durante a maré vazante e de NW-SE durante as marés enchentes. As velocidades das correntes são maiores durante os períodos de enchente (até 0,7 m/s). Durante a maré baixa, o estirânico possui cerca de 250-300 m. Esta praia é composta por areia fina (2,6-2,8 ϕ). As ondas são moduladas sobre os bancos de areia, de acordo com a fase da maré, com alturas mínimas de ondas H_s durante a maré vazante, mas superior a um metro durante a preamar. Os valores de RTR e Ω são claramente modulados de acordo com a fase da maré. Durante condições de alta energia, a praia apresenta característica de planície de maré, enquanto que durante condições de baixa energia apresenta características ultradissipativa.

Palavras-chave: Morfodinâmica; praia arenosa; macromarés; ondas moduladas; litoral amazônico.

Abstract

Oceanographic processes operating in the Amazon coastal zone result from the superposition of several dominant forces (e.g., macrotides, moderate wave energy, strong currents, elevated fluvial discharge and intense winds) that are responsible for continuous changes in the profile of the beach. The aim of this study was to understand the changes in beach morphology related to parameters such as tidal range (TR), breaker height (H_b), wave period (T), and sediment fall velocity (w_s). The study took place on a sandy Amazonian beach (Ajuruteua beach) during equinoctial (March, 2009, rainy season and September, 2009, dry season) and non-equinoctial (December, 2008, dry season and June, 2009, rainy season) periods. Waves and currents were measured for 25h using a bottom-mounted mooring to which a mini-current meter and wave and tide data loggers were attached. Surface sediment samples were collected along the beach profile. Sediment samples were then separated by size in the laboratory using a sieve shaker with nests ranging from -1.0 to 4.0 ϕ . Local tides are semidiurnal and asymmetric, with longer ebb tides (6.5 to 7.5 h) and spring tides normally reaching heights of between 4.0 and 5.5 m. Circulation patterns are dominated by tidal currents, which flow to the northwest during the ebb tide and to the southeast during the flood, with speeds of up to 0.7 m/s. During low tide, the intertidal zone is wide (around 250-300 m). The waves are modulated over the sandbanks between high and low tides, resulting in a bimodal wave height. Significant wave heights are negligible during the ebb tide, but exceed one meter during the high tide. This beach is composed of fine sand (2.6-2.8 ϕ). Modulation of RTR and Ω is clearly related to tidal conditions. During high-energy hydrodynamic conditions the beach showed characteristics of a tide dominated tidal flat, whereas during low-energy hydrodynamic conditions it showed ultra-dissipative characteristics.

Key words: Morphodynamic; sandy beach; macrotides; moderate wave energy; Amazon.

1. Introdução

Processos costeiros são controlados principalmente por ondas e marés que sofrem por modificações temporais (escala de curto, médio e longo período) e espaciais (escala local e regional). Os efeitos das marés sob os processos praias em regiões de mesomarés e macromarés têm sido menos estudados, do que aqueles desenvolvidos em praias dominadas pela energia das ondas em regiões de micromarés (Wright & Short 1984).

Em regiões de macromarés, a maioria dos artigos científicos existentes foram publicados para regiões subtropicais e temperadas (Masselink & Short 1993, Masselink & Hegge 1995, Jackson *et al.* 2005, Sénéchal *et al.* 2009, entre outros). Por outro lado, poucos estudos têm sido realizados em praias de macromarés situadas em regiões equatoriais e sob influência de complexos sistemas estuarinos e de ondas de moderada energia, como ocorre nas praias arenosas amazônicas (Pereira *et al.* 2011, 2013a, 2014a, b).

No Brasil, a linha de costa da região Amazônica representa 35% de todo litoral do país (Isaac & Barthem 1995), bem como apresenta uma dinâmica bastante diferenciada quando comparada com as demais regiões costeiras brasileiras, em decorrência da peculiaridade dos fatores climáticos e oceanográficos locais (Meade *et al.* 1985, Figueroa & Nobre 1990, Marengo 1995, Geyer *et al.* 1996). Dentre estas peculiaridades podem ser destacados: o domínio por um regime de macromarés semi-diurnas, a assimetria da maré, a elevada vazão dos rios/estuários, a elevada intensidade das correntes de marés, a presença de moderada energia das ondas que são moduladas pela presença de bancos/barras arenosas, a presença de ventos alísios, entre outros (Lam-Hoai *et al.* 2006, Pereira *et al.* 2012a, b, 2013a, b).

Na costa paraense, os processos erosivos, de transporte e os deposicionais estão relacionados tanto a ações antrópicas quanto naturais, que continuamente modificam a linha de costa (Monteiro *et al.* 2009, Pereira *et al.* 2009, Oliveira *et al.* 2011, Pinto *et al.* 2011, Silva *et al.* 2011). Dessa forma, conhecer as causas antrópicas (ex., ocupação irregular em áreas de dunas e de intermarés), bem como entender a dinâmica dos aspectos meteorológico-oceanográficos existentes, são fatores que podem contribuir para a determinação do estado morfodinâmico das praias arenosas paraenses.

Para conhecer as características morfodinâmicas de uma praia arenosa de macromaré, a praia de Ajuruteua foi utilizada como objeto de estudo neste artigo. Os dados obtidos permitirão conhecer o funcionamento de algumas

variáveis costeiras e poderão ser importantes para futuros planos de gestão costeira, uma vez que esta praia é uma das mais turísticas do Estado.

2. Área de Estudo

O litoral do nordeste paraense está orientado na direção NW-SE e apresenta-se extremamente recortado, possuindo reentrâncias que adentram até 45 km no continente. Nesta região predomina o regime de macromarés semi-diurnas, com alturas de sizígia entre 4 e 6 m (www.dhn.mar.mil). Neste contexto, encontra-se a Planície Costeira Bragantina, a qual é caracterizada pela ocorrência de mangues que ocupam 95% de toda a área costeira (Souza-Filho & El-Robrini 1996). Esta planície abrange a faixa costeira entre a ponta do Maiaú e a foz do rio Caeté, perfazendo cerca de 1.570 km². Nesta região, além da extensa área de manguezais podem ser encontradas restingas, cheniers, dunas costeiras e deltas de maré vazante (Souza-Filho & Paradella 2002).

O clima da região é equatorial quente e úmido, caracterizado por um período chuvoso, entre os meses de dezembro e maio e um período seco no restante do ano (Martorano *et al.* 1993). A pluviosidade média anual normalmente varia entre 2.000 e 3.000 mm, da qual aproximadamente 75 a 85% das chuvas ocorrem durante o período chuvoso, ou seja, normalmente entre janeiro e junho (www.inmet.gov.br), enquanto a temperatura anual oscila entre 20,4 e 32,8°C (Martorano *et al.* 1993). O vento também apresenta um padrão sazonal, com intensidades mais fortes durante a estação seca, embora durante o período chuvoso sejam registradas fortes rajadas de vento (www.inmet.gov.br).

A praia de Ajuruteua está situada na Planície Costeira Bragantina (entre os estuários do Caeté e Taperaçú), e a 36 km da cidade de Bragança (figura 1). A praia está inserida em uma costa de ilha barreira transgressiva e possui dois setores bem definidos: setor NW, erosivo e setor SE, acrescivo (Alves & El-Robrini 2006, Monteiro *et al.* 2009). Possui aproximadamente 2,5 km de extensão e 300 m de largura. Nesta região predominam as correntes de maré com direção NW-SE na enchente e SE-NW na vazante, atingindo velocidades médias superiores a 0,5 m/s (Pereira *et al.* 2013a). As alturas de ondas (H_s) são moduladas por bancos e barras arenosas, localizadas nas adjacências da praia, e podem atingir 1,5 m de altura durante a preamar (Monteiro *et al.* 2009, Pereira *et al.* 2013a, 2014b). A arrebentação é do tipo deslizante, com ondas quebrando em duas ou mais barras paralelas à linha de costa (Alves & El-Robrini 2006, Barbosa *et al.* 2007).

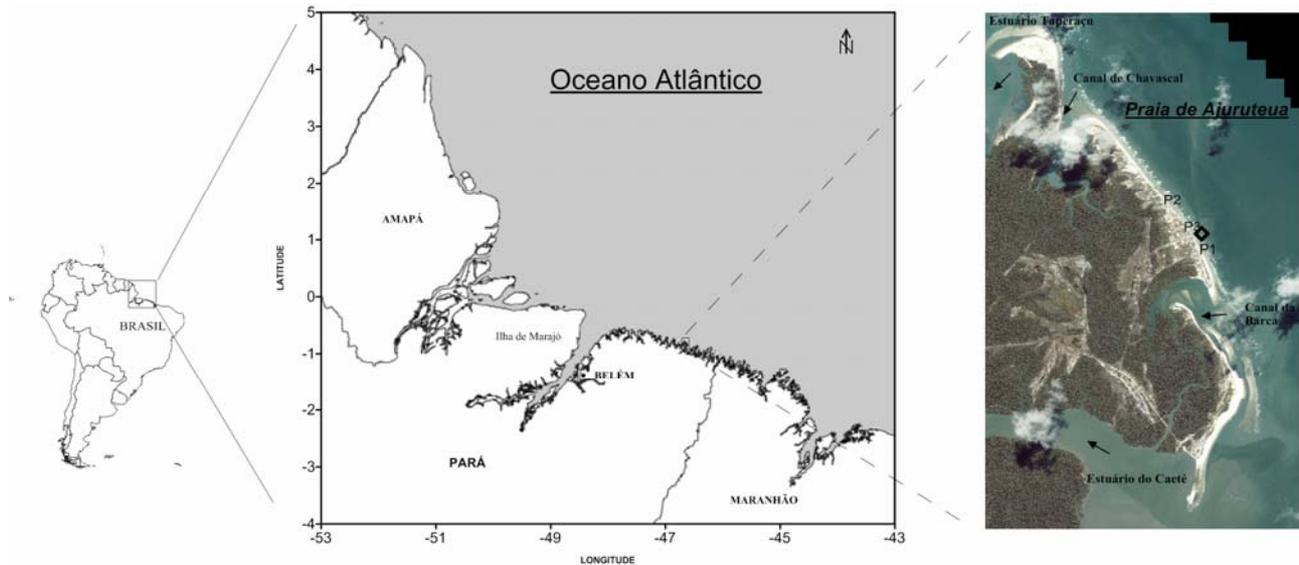


Figura 1: Área de estudo com os referentes pontos de coleta. Localização dos perfis estudados, P1, P2 e P3 e localização de fundeio dos equipamentos oceanográficos (♦). Fonte: Imagem LANDSAT (2007).

3. Materiais e Métodos

Quatro campanhas foram realizadas neste estudo: (i) dezembro/2008 - final do período seco (ventos fortes); (ii) março/2009 - período de maré equinocial de sizígia/período chuvoso; (iii) junho/2009 final do período chuvoso (ventos fracos); e (iv) setembro/2009 - período de maré equinocial de sizígia/período seco. Nestas campanhas foram obtidos dados hidrodinâmicos, morfológicos e de sedimentos. Dados climatológicos e oceanográficos foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN) e Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE).

3.1 Variáveis Físicas

Os dados climatológicos mensais (vento e precipitação) foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), entre dezembro/2008 e setembro/2009, através da estação meteorológica localizada no município de Bragança.

Os dados de ondas *offshore* (altura significativa das ondas - H_{os} , período de onda - T_p e direção da onda - θ) e de ventos, foram fornecidos pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), nos quatro meses estudados. A partir desses dados foram obtidos os valores de força da onda (P) (Eq. 1).

$$P = ECg \quad (1)$$

sendo, E a energia da onda (N/m^2) e C_g a velocidade do grupo de ondas (m/s) em águas mais profundas, sendo expressos nas equações 2 e 3, respectivamente.

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 \quad (2)$$

$$C_g = \frac{1}{4} \frac{g T_p}{\pi} \quad (3)$$

onde, ρ é a densidade da água (kg/m^3), g é aceleração gravitacional (m/s^2), H é a altura da onda (m) e T_p é o período da onda (s).

Outros parâmetros hidrodinâmicos, como correntes, marés e ondas, foram medidos *in situ* com o auxílio de um mini-correntômetro (SENSORDATA SD 6000) e um sensor de marés e ondas (TWR-2050), respectivamente. Esses equipamentos foram fundeados a aproximadamente 1,7 m de profundidade, durante uma baixa-mar de sizígia, por um período de 25h, em uma estação fixa ($00^{\circ}49'9,4''S$ e $46^{\circ}36'8,6''W$). Todas as leituras foram realizadas a cada 10 minutos, sendo o nível de elevação da maré, corrigido de acordo com o nível de redução (menor altura possível de marés baixas) fornecido pelo Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN).

3.2 Aspectos Morfodinâmicos

Três perfis topográficos (P1, situado no setor sudeste - acrescivo; P2, localizado no setor noroeste - erosivo; e P3, encontrado em um setor intermediário) foram estudados, através do método topográfico *Stadia* (Birkemeier 1981). As leituras foram realizadas de acordo com as variações morfológicas, ou a cada 20 m, quando variações não foram observadas.

Amostras superficiais de sedimento foram coletadas simultaneamente aos levantamentos topográficos, entre as áreas de dunas ou pós-praia e 1 m de profundidade da antepraia. Em laboratório, o material coletado passou por um processo de dessalinização e secagem, com posterior separação do tamanho dos grãos, através de um agitador automático com peneiras de tamanhos variando de -1.0 a 4.0 ϕ . A distribuição dos tamanhos de grãos de cada amostra foi analisada estatisticamente, através das equações propostas por Folk & Ward (1957), com a utilização do programa SYSGRAN (Camargo 1999) e valores médios foram apresentados neste trabalho.

A classificação e descrição morfodinâmica foram obtidas, através da relação entre dados hidrodinâmicos e morfo-sedimentares, a partir de modelos propostos para

praias de macromarés australianas (Masselink & Short 1993, Short 2006). O parâmetro de velocidade de queda adimensional do grão- Ω (Gourlay 1968, Dean 1973) foi utilizado para classificar as praias em dissipativa, intermediária ou reflectiva. O tamanho do sedimento, as alturas modais das ondas na arrebentação (H_b) e os períodos das ondas (T) foram usados para calcular Ω (Eq. 4).

$$\Omega = \frac{H_b}{W_s T} \quad (4)$$

onde, H_b corresponde à altura da onda na rebentação, w_s representa a velocidade de queda adimensional e; T significa o período da onda.

A altura da maré (TR) associada à altura da onda na zona de arrebentação (H_b) foi usada para obter os valores da variação relativa da maré (RTR), de acordo com Davis & Hayes (1984), Eq. 5.

$$RTR = \frac{TR}{H_b} \quad (5)$$

Os resultados foram analisados, de acordo com as fases das marés (enchente e vazante) e sazonalmente (seco e chuvoso).

4. Resultados

4.1 Climatologia

O clima da região é caracterizado por duas estações bem definidas, uma seca e outra chuvosa. Durante o período estudado, a estação chuvosa ocorreu entre os meses de janeiro e julho, registrando valores mensais máximos e mínimos de 835,4 mm (maio/09) e 251,8 mm (junho/09), respectivamente. Por outro lado, na estação seca, o índice pluviométrico foi bastante baixo, variando mensalmente de aproximadamente zero em dezembro/08 (0,02 mm) a 45,2 mm em agosto/09. Durante os quatro meses de estudo, o maior valor mensal foi de 542 mm no mês de março/09 e o menor foi de 0,02 mm no mês de dezembro/08 (figura 2).

Em geral, as menores velocidades médias dos ventos foram registradas durante o período chuvoso, principalmente nos meses de maio (1,4 m/s) e junho (2,1 m/s). Enquanto as maiores velocidades médias de vento foram obtidas durante os meses de setembro (4,8 m/s) e dezembro (5,6 m/s), ambos correspondentes ao período seco (figura 2).

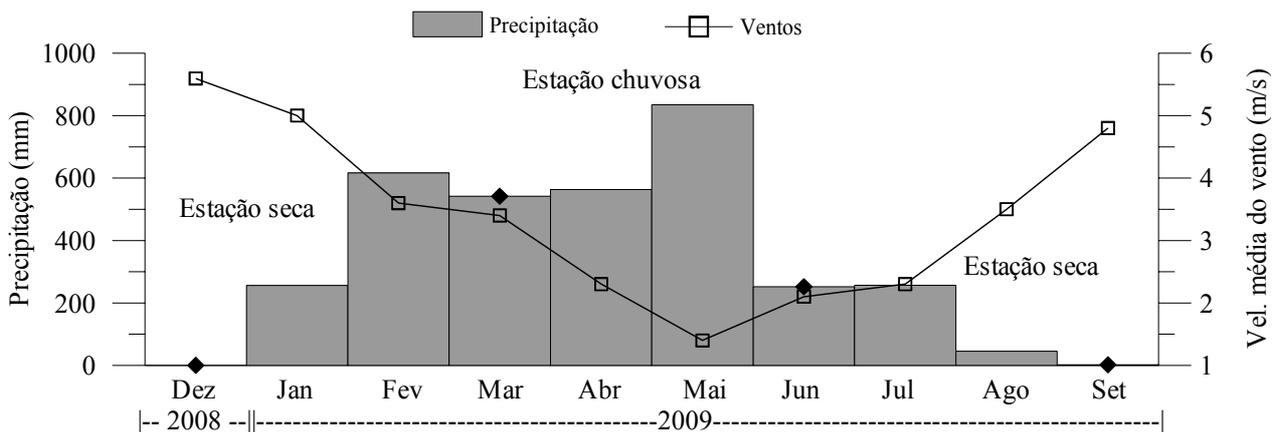


Figura 2: Dados mensais de precipitação e velocidade média dos ventos fornecidos pelo INMET (estação Bragança – PA). O símbolo \blacklozenge representa os meses de coleta.

4.2 Aspecto Hidrodinâmico

4.2.1 Condições Offshore

Comparando os quatro meses de estudo é possível observar que em março e dezembro foram registrados os maiores valores de H_{os} , P e T_p (figuras 3 e 4). Durante este período, os ventos sopraram de nordeste ($40^\circ < \theta < 80^\circ$), com velocidades entre 4,5 e 8 m/s. Por outro lado, em junho foram registrados baixos valores de H_{os} , P e T_p . Neste mês, os ventos foram moderados e sopraram nas direções nordeste, leste e sudeste ($80^\circ < \theta < 110^\circ$). Em setembro, a alta velocidade dos ventos nordeste e leste ($80^\circ < \theta < 90^\circ$) parece ter influenciado na formação de ondas de curto período com alturas de ondas (H_{os}) moderadas.

Durante os dias estudados, os maiores valores de H_{os} , T_p e P também ocorreram em dezembro (12/12) e março (28-29/03), quando atingiram, H_{os} de 1,2 m, T_p de 6s e P de 9.166,7 N/ms (dezembro) e 8.478,24 N/ms (março)

(figuras 3A e 4B). Neste período, os ventos sopraram de nordeste (figura 3C). A figura 3B mostra que as maiores velocidades de vento (durante os dias de coletas) foram em dezembro (11-12/12) e setembro (4-5/09), período seco, com velocidades variando de 7,6 a 7,9 m/s. Entretanto, em setembro, embora a altura da onda H_{os} tenha sido próxima a 1,2 m, os valores de P foram mais baixos (~ 6.000 N/ms) em decorrência dos baixos valores de T_p (4s). Ventos mais fracos foram observados durante as coletas do mês de março (29/03) e junho (04/06), variando entre 5,9 e 6,5 m/s.

Em geral, os maiores valores de P foram gerados nos dias com maiores H_{os} e T_p , quando sopraram ventos de nordeste ($50^\circ < \theta < 70^\circ$), enquanto os menores valores de P corresponderam aos períodos em que os ventos incidiram na direção $80^\circ < \theta < 110^\circ$, e quando ocorreram os mais baixos valores de H_{os} (junho) e mais baixos valores de T_p em setembro/09 (figuras 3A e 3C). Em setembro, as ondas incidiram do quadrante leste ($72^\circ < \theta$

$< 78^\circ$), enquanto nos demais meses o ângulo de incidência foi de $40^\circ < \theta < 70^\circ$.

4.2.2 Condições Nearshore

As maiores alturas de marés (TR) foram observadas em março/09 (5,2 m), dezembro/08 (5,2 m) e setembro (4,8 m). Enquanto em junho, o valor de TR foi 4,2 m (figura 5A). A maré apresentou um comportamento assimétrico, com períodos de enchente mais curtos ($\sim 4,5$ h a $5,5$ h) e períodos de marés vazantes mais longos ($\sim 6,5$ h a $7,5$ h).

Por outro lado, os maiores valores de H_s corresponderam aos períodos de maiores TR , alcançando valores máximos de 1,44 m (março) e 1,36 m (setembro), associado a períodos de 5,5 e 4,5s, respectivamente (figuras 5A e 5C). Entretanto, assim como as ondas *offshore*, as ondas *nearshore* também obtiveram suas menores alturas no mês de junho, alcançando valores máximos de 1 m, para períodos de 6s (figuras 5B e 5C). Em geral, as ondas (H_s e T_p) foram moduladas pela altura da maré, alcançando valores maiores durante os períodos de preamar e menores durante os períodos de baixa-mar.

As correntes de marés dominaram na região. O fluxo foi de NW-SE durante as marés enchentes e de SE-NW nas marés vazantes (figura 5E). As maiores velocidades de correntes (figura 5D) foram registradas nos períodos de maré enchente, sendo a velocidade máxima de 0,68 m/s, atingida na coleta referente ao mês de março (maiores alturas de TR) e a mínima de 0,4 m/s no mês de junho (menores alturas de TR). Esta diferença entre as velocidades das correntes durante os períodos de vazante e enchente podem ser atribuídas às características assimétricas da maré, associada à existência de barras arenosas adjacentes à praia de Ajuruteua.

4.3 Morfologia Praial

4.3.1 Perfis de praia

O perfil P1 (setor SE) é o mais extenso (aproximadamente, 300 m) e possui dunas frontais. Este setor é mais protegido pelos bancos/barras arenosas, quando comparado com o setor NW que está mais exposto à incidência das frentes de onda que predominam de NE. Por outro lado, tanto o perfil P2 (setor NW) quanto o perfil P3 (setor intermediário) possuem, aproximadamente, 250 m de extensão durante as sizíguas. Em geral, os três perfis (figura 6) apresentaram baixa declividade (1°) e sistema de barras e calhas na zona de intermaré (P1 e P3), em alguns meses.

Em dezembro (período seco), os três perfis apresentaram um acréscimo próximo ao nível de maré alta de sizígia (NMA). Este fato pode ser explicado pelo baixo índice pluviométrico e pelas maiores velocidades de vento durante este período, fato que contribuiu para o transporte de sedimentos das dunas para este setor da praia. Em junho (período chuvoso), o efeito foi inverso e houve retirada de sedimento das dunas frontais e acúmulo na zona de intermaré. Comparando março (maré equinocial de sizígia) e dezembro, foi possível observar que em março (maré equinocial de sizígia) houve erosão próximo ao NMA (nos três perfis), erosão (P1 e P3) entre o NMA e o NMM, acresção (P2) entre o NMA e o NMM, e

acresção (nos três perfis) entre o NMM e o NMB. Por outro lado, comparando junho e setembro foi observado acresção em setembro (período seco) próximo ao NMA, acresção em alguns setores entre o NMA e o NMM (P1 e P3), erosão entre o NMA e o NMM (P2) e erosão entre o NMM e o NMB.

Quando comparado o primeiro e o último mês de coleta foi possível observar que a praia tende a um equilíbrio, embora os perfis P2 e P3 possuam características erosivas e P1 característica acresciva. Contudo, os três perfis estudados estão situados em uma zona de risco sujeita à ação antrópica (*e.g.*, ocupação indevida em áreas de dunas e intermarés) e à alta energia hidrodinâmica local.

4.3.2 Análise dos Sedimentos

Não houve diferença espaço-temporal da classificação dos sedimentos por tamanho. Em Ajuruteua predominam os grãos de areia fina (tabela 1), variando entre 2,6 e 2,8 ϕ . Em geral, estes grãos apresentam assimetria positiva (0,17 a 0,23 ϕ) e distribuição mesocúrtica (0,88 a 1,11 ϕ).

4.3.3 Aspecto Morfodinâmico

Para os três setores estudados (P1, P2 e P3), os valores sazonais de Ω variaram entre 2,6 e 5,8 e o RTR entre 6,6 e 16,0. Os menores valores de Ω (figuras 7A-C) foram observados durante o período chuvoso, quando foram registrados os maiores períodos de ondas (T_p). Por outro lado, os maiores valores de Ω foram registrados no período seco, quando foram observados os menores períodos de ondas (T_p). Quanto aos valores de RTR (figuras 7A-C), os menores valores foram registrados no período chuvoso (principalmente em junho, baixos valores de TR quando comparados aos outros meses). Por outro lado, os maiores valores de RTR foram registrados no período seco, principalmente em setembro quando as alturas de ondas foram ligeiramente mais baixas quando comparadas a dezembro.

Com relação à variação da maré, foi possível observar dois comportamentos diferentes, um durante a fase de enchente (menores valores de RTR, 6,28 a 7,82 e maiores valores de Ω , 3,63 a 7,035) e outro durante o ciclo vazante (maiores valores de RTR, 12,45 a 29,91 e menores valores de Ω , 0,89 a 2,67). Estes dados comprovam que a incidência de ondas é maior durante o período de enchente (maior altura e menor T_p), enquanto no período de vazante, os valores mais baixos de altura de onda favorecem a que os valores de RTR sejam mais elevados e os valores de Ω sejam mais baixos (maior período de onda) (figuras 8A-C).

Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais

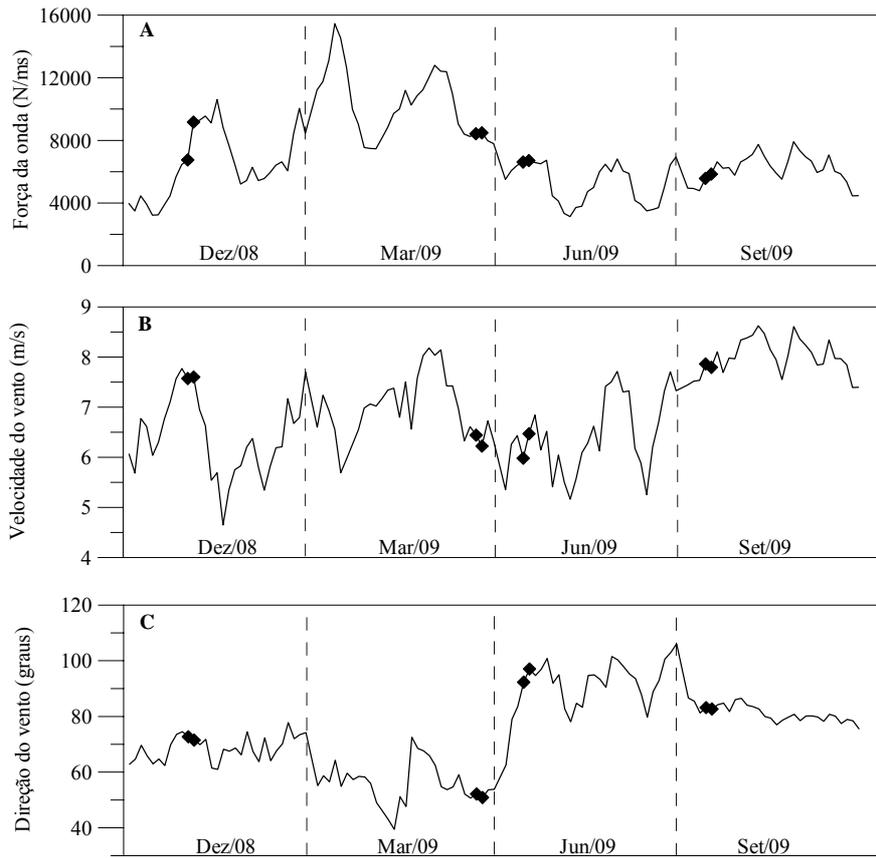


Figura 3: Dados de força de onda *offshore* e velocidade e direção dos ventos durante os meses de estudo, destacando os dias de campanha. O símbolo (◆) representa os dias de coleta.

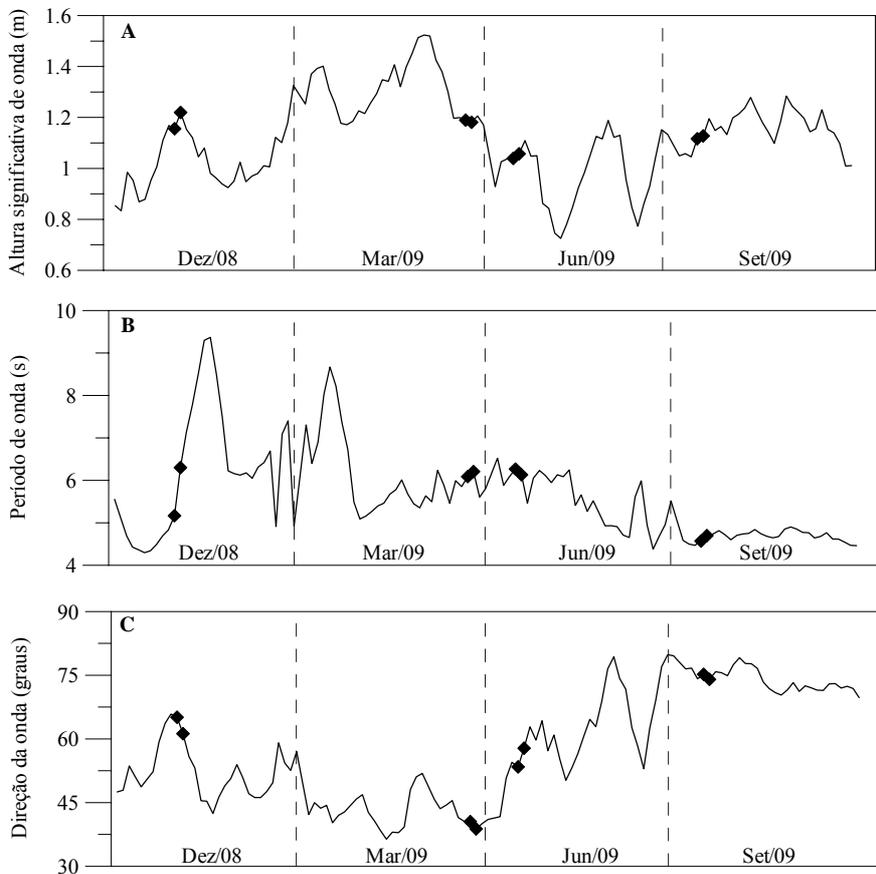


Figura 4: Dados de altura (A), período (B) e direção (C) das ondas *offshore* durante os meses de estudo com destaque para os dias de campanha. O símbolo (◆) representa os dias de coleta.

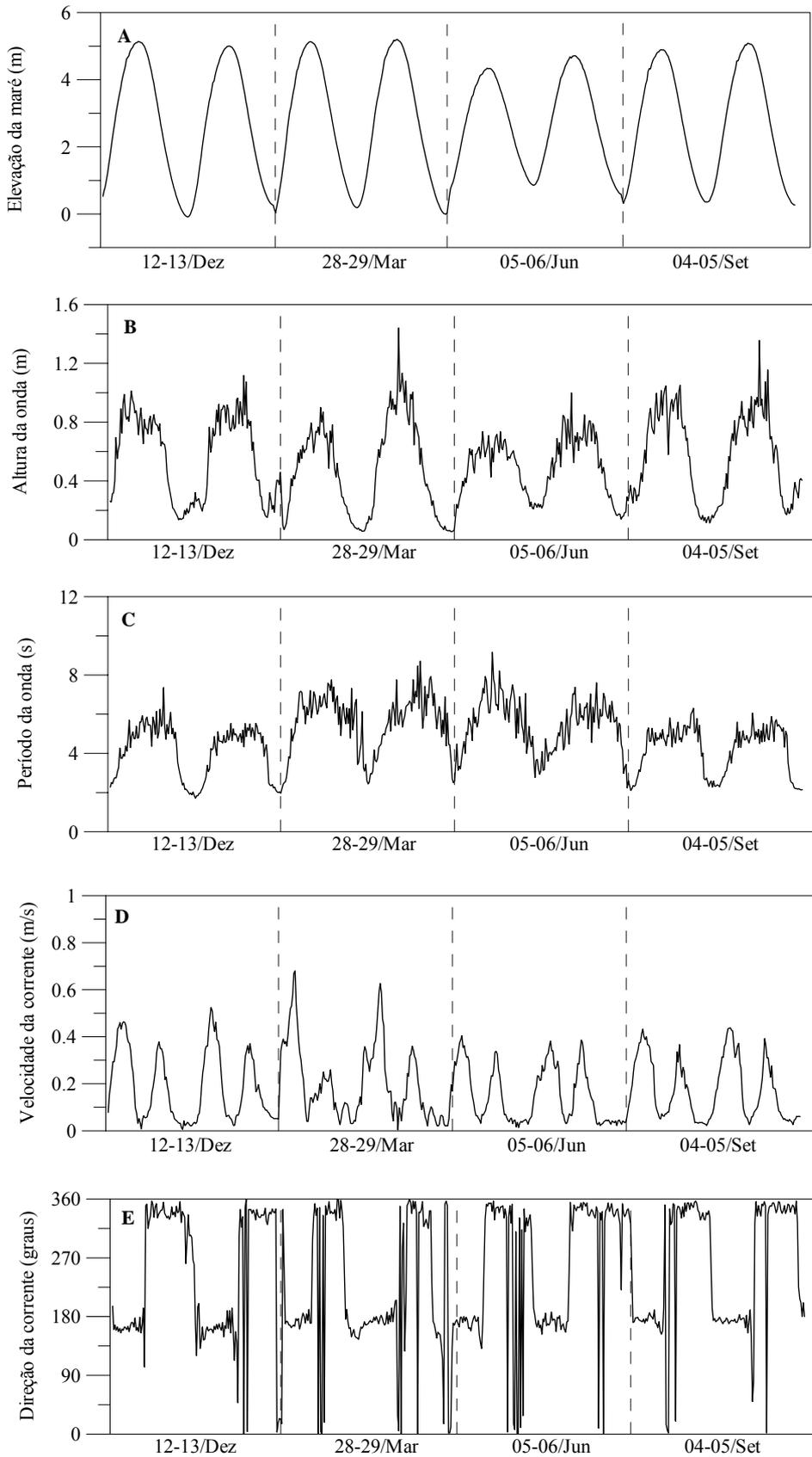


Figura 5: Dados de elevação da maré (A), altura (B) e período das ondas (C) e velocidade (D) e direção das correntes (E), durante todo o período de estudo.

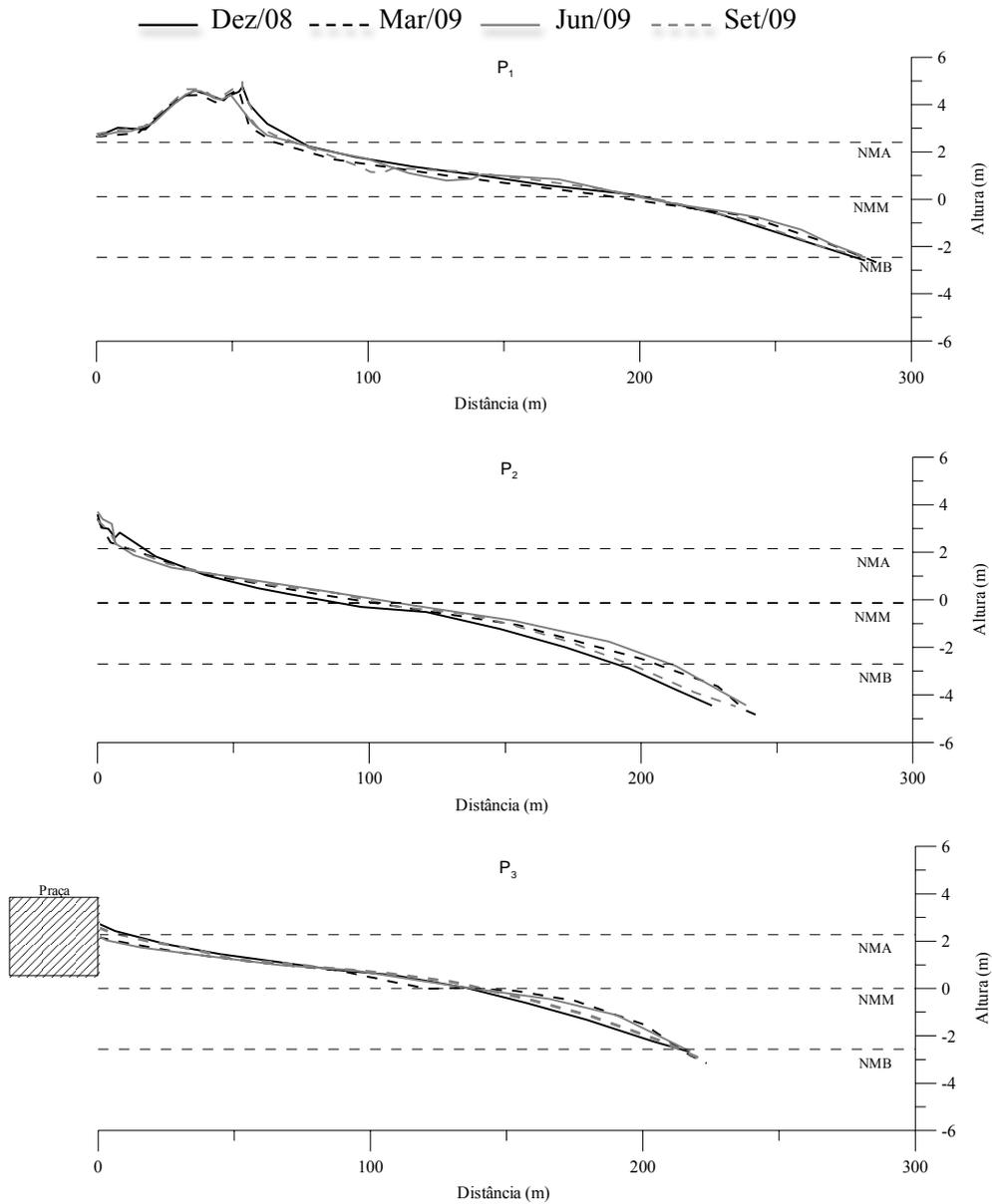


Figura 6: Perfis de praia nos três setores monitorados durante os quatro meses de estudo, com valores corrigidos a partir do nível médio de maré fornecido pelo DHN. Sendo NMA – nível de maré alta, NMM – nível médio de maré e NMB – nível de maré baixa.

Tabela 1: Classificação dos sedimentos, em função de phi, com base nos valores médios das amostras coletadas.

	MÉDIA	ASSIMETRIA	CURTOSE	SELEÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
PERFIL 01					
Dez/08	2,72	0,23	1,01	0,50	Areia fina
Mar/09	2,64	0,21	1,08	0,54	Areia fina
Jun/09	2,70	0,19	1,03	0,53	Areia fina
Set/09	2,70	0,19	1,03	0,53	Areia fina
PERFIL 02					
Dez/08	2,76	0,22	0,95	0,56	Areia fina
Mar/09	2,77	0,23	0,93	0,57	Areia fina
Jun/09	2,70	0,21	1,01	0,52	Areia fina
Set/09	2,76	0,20	0,98	0,60	Areia fina
PERFIL 03					
Dez/08	2,71	0,17	1,10	0,58	Areia fina
Mar/09	2,64	0,17	1,09	0,17	Areia fina
Jun/09	2,66	0,22	1,08	0,50	Areia fina
Set/09	2,80	0,22	0,88	0,59	Areia fina

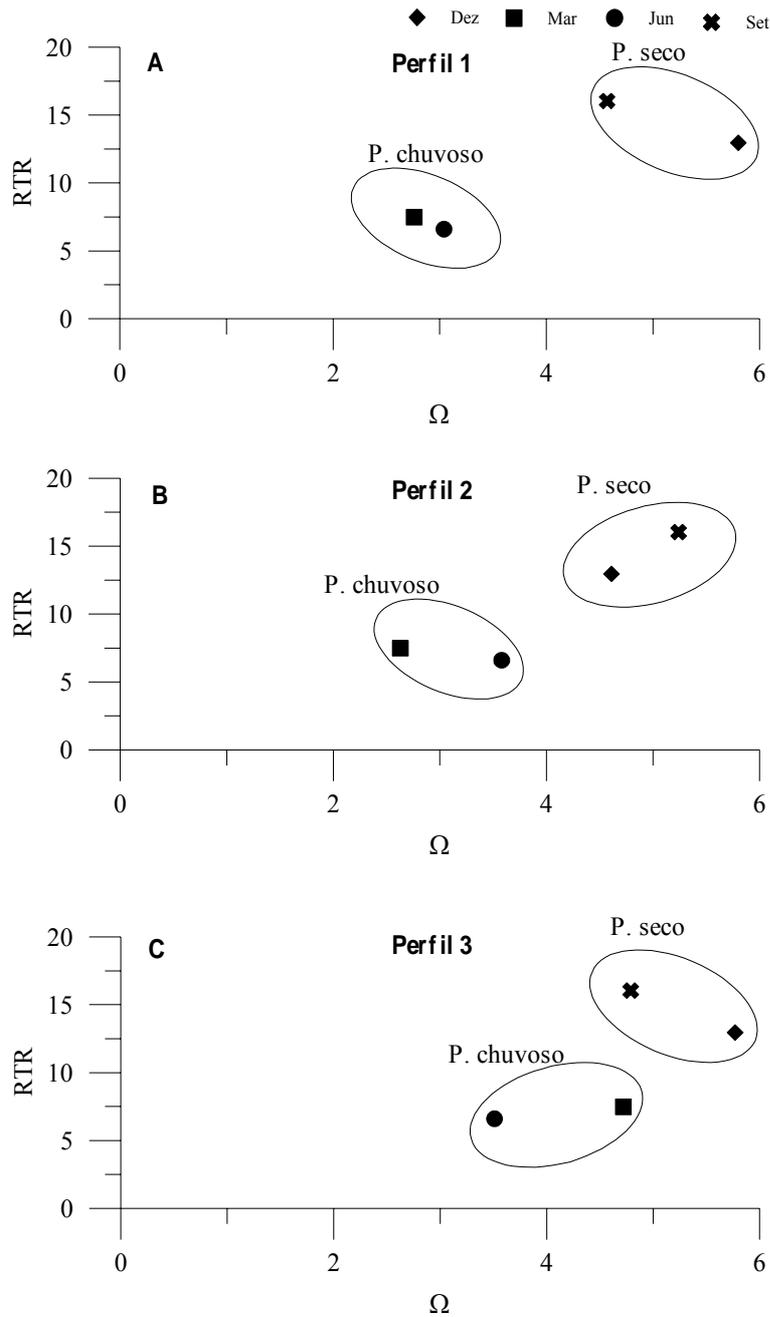


Figura 7: Valores mensais de RTR e Ω em cada perfil estudado.

De acordo com a classificação morfodinâmica utilizada, a praia estudada apresenta característica de praia ultradissipativa. Entretanto, quando os dados são analisados de acordo com os períodos de maré (enchente e vazante), apresenta características de praia ultradissipativa durante a maré enchente, e de planície de maré durante a maré vazante.

5. Discussão

Eventos de alta energia causam modificações acentuadas na linha de costa. Neste estudo, eventos deste tipo foram observados durante o período de equinócio, março e setembro, e quando os ventos sopraram mais fortes (dezembro). Durante estes períodos, as marés atingiram maiores elevações e dado que as ondas são

moduladas pelas marés, as ondas *nearshore* e *offshore* também apresentaram maiores alturas e as correntes de marés velocidades mais intensas. Por outro lado, condições de baixa energia foram encontradas em junho, coincidindo com ventos de mais baixas intensidades, soprando de diferentes direções. Eventos de alta energia, como os observados durante os períodos de equinócios, são típicos em várias outras praias do litoral amazônico e resultados similares foram encontrados por [Pereira et al. \(2011\)](#) e [Silva et al. \(2009\)](#) em praias de São Luís, [Pereira et al. \(2009\)](#) na Vila dos Pescadores-PA, [Pereira et al. \(2012a\)](#) na praia da Princesa-PA e [Pereira et al. \(2012b\)](#) em Atalaia-PA.

A costa Amazônica é dominada por macromarés semi-diurnas que podem alcançar até 12 m na costa do Amapá.

Na área de estudo, assim como em todo litoral do nordeste paraense, a elevação da maré durante os períodos de sizígia são normalmente de 4 a 6 m. A presença de bancos e barras de areia, associada à larga extensão e à baixa declividade da plataforma continental são fatores que favorecem a assimetria da maré em Ajuruteua. A

assimetria é marcada por longos períodos de marés vazantes e períodos mais curtos de marés enchentes (Pereira *et al.* 2013a). Estudos observados por Lam-Hoai *et al.* (2006), Pereira *et al.* (2009) e Anthony *et al.* (2013) mostraram que a assimetria da maré é uma característica bastante comum no litoral amazônico.

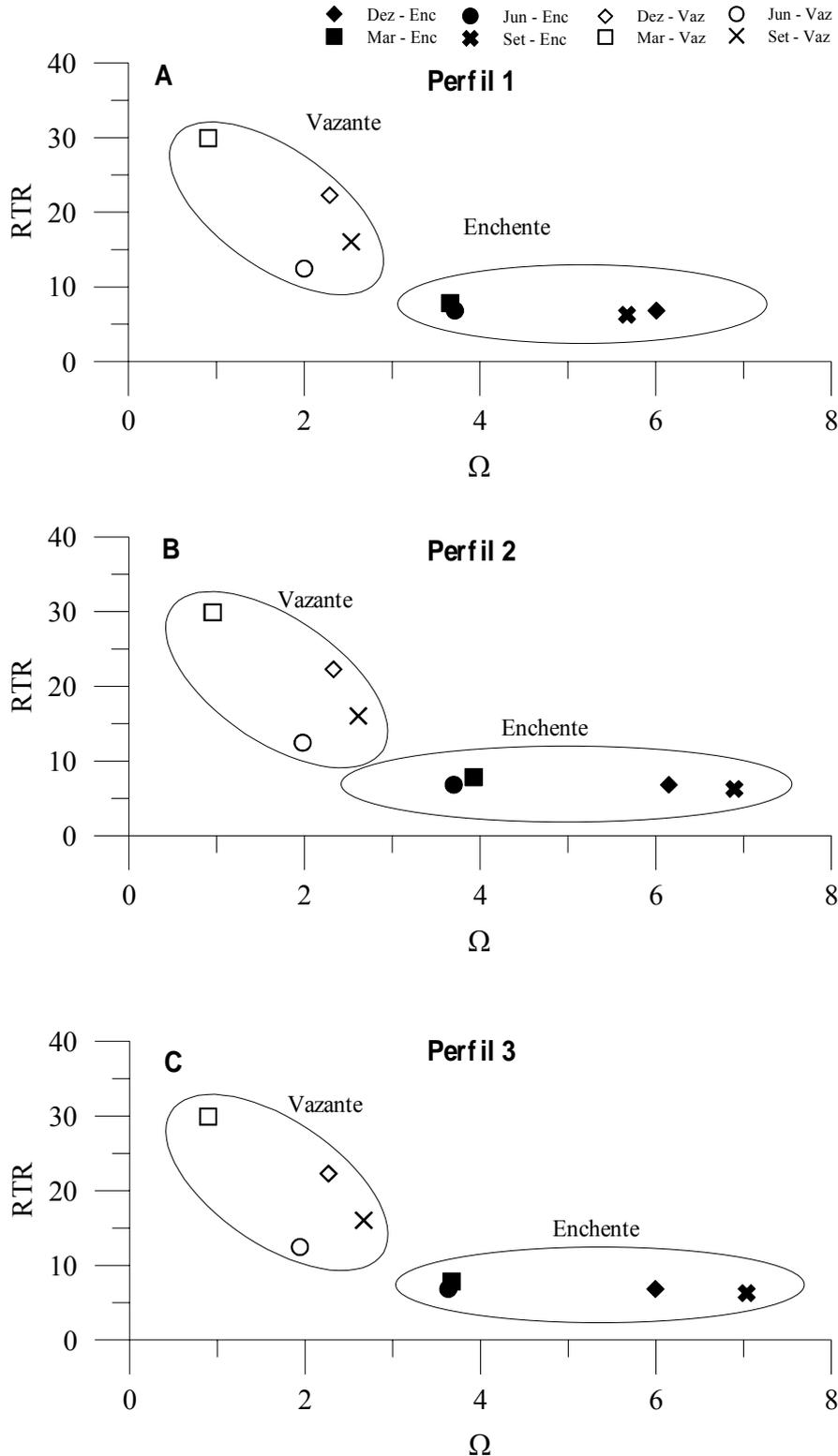


Figura 8: Valores mensais de RTR e Ω em cada perfil estudado, durante os períodos de enchente e vazante.

Além de acentuar a assimetria da maré, a presença de barras e bancos de areia é responsável em modular a

energia das ondas que alcançam a linha de costa, favorecendo que a incidência das mesmas ocorra

principalmente durante o período de enchente (Pereira *et al.* 2012a, b, 2013b, Anthony *et al.* 2013). Durante o final da vazante, baixa-mar e início da enchente, as alturas das ondas são mínimas. Neste período, a intensidade das correntes é quase zero. Devido à assimetria da maré, as maiores intensidades das correntes ocorrem durante o período de enchente, cerca de 2h após o período de baixa-mar. Devido à presença de diversos estuários, a corrente de maré predomina na área mais costeira, apresentando direção de correntes opostas, NW-SE na enchente (em direção ao estuário do Caeté) e SE-NW na vazante (direção contrária ao estuário do Caeté).

Assim como as características hidrodinâmicas e climatológicas, os aspectos morfodinâmicos da área estudada também apresentaram padrões bem definidos. Neste sentido, a variabilidade morfológica dessa praia foi analisada, através da combinação de parâmetros básicos como característica das ondas e granulometria do sedimento (McLachlan 1983).

Com relação ao transporte de sedimento (pós-praia para a zona de antepraia), Wright & Short (1984) comentaram que durante a estação chuvosa, o sedimento é retirado da zona de dunas frontais e intermarés e é depositado na zona de antepraia, formando barras arenosas imersas, as quais provocam a arrebentação das ondas antes destas atingirem a praia, evitando uma erosão mais intensa. Enquanto na estação seca, os sedimentos são transportados da zona de antepraia para o pós-praia. Como uma consequência, as barras imersas vão desaparecendo, e a zona de intermarés tende a aumentar e o pós-praia a reconstruir, estabelecendo um novo equilíbrio. Um comportamento similar foi observado em Ajuruteua, entretanto o aporte dos sedimentos das dunas em dezembro foi o principal responsável pela acreção de sedimentos neste setor da praia. Em junho, período de menor energia hidrodinâmica, houve acúmulo de sedimentos próximo ao setor da antepraia, e a erosão observada na região de dunas e no início e parte da zona de intermaré foi devido à elevada precipitação.

Apesar de Ajuruteua estar dividida em dois setores bastante distintos: (i) setor sudeste, característica acresciva e (ii) setor noroeste, característica erosiva (Souza-Filho *et al.* 2003, Monteiro *et al.* 2009), o estado morfodinâmico parece ter variado mais em função da sazonalidade e da fase da maré, do que em termos espaciais. A predominância de areia fina nos três perfis contribuiu para que a variação espacial do estado morfodinâmico mantivesse mínima. Por outro lado, as diferentes condições hidrodinâmicas (*e.g.* período da onda, altura da onda, e elevação da maré) com relação à sazonalidade (seco e chuvoso) e a fase da maré (enchente e vazante) foram responsáveis por afetarem temporalmente o estado morfodinâmico local.

Valores modais de altura de onda foram mínimos durante períodos de maior energia hidrodinâmica, quando a assimetria é mais acentuada (período de vazante mais longo). Este fato, associado à presença de fortes ventos e consequentemente a T_p mais curtos favoreceram para que a praia tivesse característica de planície de maré durante o período seco (setembro). A condição planície de maré

ocorre quando RTR é maior do que 15. No período chuvoso, a condição ultradissipativa é uma consequência da ocorrência de ventos menos intensos e T_p mais longos. Praias ultradissipativas possuem uma baixa declividade e ocorre quando RTR está entre 7 e 15 e $\Omega > 2$.

Quando analisado os períodos de enchente e de vazante, característica de planície de maré foi encontrada, durante os períodos de vazante, nos meses de maior energia hidrodinâmica (dezembro/08, março/09 e setembro/09), devido à presença de uma assimetria mais acentuada da maré e valores modais de H_b mais baixos. Por outro lado, em junho, os mais altos valores modais de H_b resultaram em condições de característica ultradissipativa, durante o período de enchente e vazante. Característica de praia modificada por maré do tipo intermediária a dissipativa foi observada durante o período de enchente. Barras e calhas apenas ocorreram nos períodos de maior precipitação, quando a praia tendeu a característica intermediária (RTR, entre 3 e 7 e Ω , entre 2 e 5).

6. Conclusões

Ao analisar a influência dos fatores climatológicos sob as condições hidrodinâmicas, foi observado que o período de menor energia hidrodinâmica foi registrado em junho/09. Por outro lado, dezembro/08 (ventos forte), março/09 (maré equinocial de sizígia) e setembro/09 (maré equinocial de sizígia e fortes ventos) foram caracterizados por apresentarem uma maior energia hidrodinâmica. Em dezembro, devido à presença dos fortes ventos e a ausência de chuvas (transporte eólico), as dunas frontais e o pós-praia são mais amplos. Comportamento oposto é encontrado em junho (período de chuvas), bem como durante os períodos equinociais (alta energia hidrodinâmica). Nestes meses é possível observar que o sedimento é removido das dunas e do pós-praia e é depositado no final da zona de intermaré e início da antepraia.

Ajuruteua apresenta característica típica de uma praia ultradissipativa, com baixa declividade e coberta por sedimentos finos. Entretanto, dependendo da fase da maré (enchente ou vazante), Ajuruteua pode ter característica distinta. Influenciada por marés com alturas de sizígia, variando de 4 a quase 6 metros e ondas moduladas por bancos/barras arenosas com alturas H_s que podem variar de quase zero (baixa-mar) a 1,5 m (preamar), esta praia é classificada como ultradissipativa durante a maré enchente e planície de maré durante o período de maré vazante.

Desta forma, concluímos que o estado morfodinâmico desta praia depende sazonalmente das condições meteorológicas e em uma escala mais curta de tempo da fase da maré (enchente e vazante), uma vez que as ondas que alcançam à linha de costa são moduladas pelos bancos/barras de areia, durante os períodos de baixa-mar.

Agradecimentos

Este estudo foi financiado pela FAPESPA, através do Projeto Universal (115/2008). Pereira, L.C.C também agradece ao CNPq por sua bolsa de pesquisa. Vila-

Concejo agradece ao Australian Research Council a sua Future Fellowship (FT100100215).

Referências

- Alves M.M.S., El-Robrini M. 2006. Morphodynamics of a Macrotidal Beach: Ajuruteua. Bragança North Brazil, *Journal of Coastal Research*, SI 39: 949-951.
- Anthony J.E., Gardel A., Proisy C., Fromard F., Gensac E., Peron C., Walcker R., Lesourd S. 2013. The role of fluvial sediment supply and river-mouth hydrology in the dynamics of the muddy, Amazon-dominated Amapá-Guianas coast, South America: a three-point research agenda. *J. S. Am. Earth Sci.*, 44 (No Spécial): 18-24.
- Barbosa V.M., Gregório A.M. da S., Busman D.V., Costa R.A.M. da, Souza Filho P.W.M., Pereira L.C.C. 2007. Morfodinâmica durante uma maré equinocial de sizígia em uma praia de macromaré do Litoral Amazônico (Praia de Ajuruteua-PA, Brasil). *Boletim Paranaense de Geociências, Boletim Paranaense de Geociências*, 60-61: 31-43.
- Birkemeier W.A. 1981. Fast, Accurate Two-Person Beach Survey. Coastal Engineering Technical Aid 81 -11. U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, Mississippi. 22p.
- Camargo M.G. 1999. Sysgran para Windows. Sistema de Análise Granulométrica.
- CPTEC - Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos. Ondas. URL: [HTTP://www.ondas.cptec.inpe.br](http://www.ondas.cptec.inpe.br).
- Davis R.A., Hayes M.O. 1984. What is a wave dominated coast? *Marine Geology*, 60: 313-329.
- Dean R.G. 1973. Heuristic models of sand transport in the surf zone. In: Conference on Engineering Dynamics in the Surf Zone. Sydney. Proceedings. Sydney, Institute of Engineers, 208-214.
- DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação). Tábuas de maré para o fundeadouro de Salinópolis (Estado do Pará). URL [HTTP://www.dhn.mar.mil.br/chm/tabuas](http://www.dhn.mar.mil.br/chm/tabuas).
- Figueroa S.N., Nobre C.A. 1990. Precipitations distribution over Central and Western Tropical South America. *Climanálise – Boletim de Monitoramento e Análise Climática*, 5 (6): 36-45.
- Folk R.L., Ward W.C. 1957. Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentology Petrology*, 27: 3-27.
- Geyer W.R., Beardsley R.C., Lentz S.J., Candela J., Limeburner R., Johns W.E., Castro B.M., Soares I.D. 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, 16: 575-616.
- Gourlay M.R. 1968. Beach and dune erosion tests. Delft Hydraulics Laboratory, Report M935/M936, Delft, NL.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Estação Automática de Bragança. URL [HTTP://www.inmet.gov.br/sonabra](http://www.inmet.gov.br/sonabra).
- Isaac V.J., Barthem R.B. 1995. Os Recursos pesqueiros da Amazônia brasileira. PR-MCT/CNPq. Museu Paraense Emílio Goeldi.
- Jackson D.W.T., Cooper J.A.G., Riob L. del. 2005. Geological control of beach morphodynamic state. *Marine Geology*, 216: 297-314.
- Lam-Hoai T., Guiral D., Rougier C. 2006. Seasonal change of community structure and size spectra of zooplankton in the Kaw River Estuary (French Guiana). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 68 (1-2): 47-61.
- Marengo J. 1995. Interannual variability of deep convection in the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data. *International Journal Climatology*, 15 (9): 995-1010.
- Martorano L.G., Pereira L.C., Cezar. E.G.M., Pereira I.C.B. 1993. Estudos climatológicos do Estado do Pará, classificação climática (Köppen) e deficiência hídrica (Thorntwhite, Mather). Belém, SUDAM/EMBRPA, SNLCS, 53 p.
- Masselink G., Hegge B. 1995. Morphodynamics of meso- and macrotidal beaches: examples from central Queensland, Australia. *Marine Geology*, 129: 1-23.
- Masselink G., Short A. 1993. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. *Journal of coastal Research*, 9 (3): 785-800.
- McLachlan A. 1983. Sandy beach ecology - a review. In: McLachlan A., Erasmus T. (eds). *Sandy Beaches as Ecosystems*. The Hague, JUNK, 321-380.
- Meade R. H., Dune T., Richey J.E. 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, 228: 488-490.
- Monteiro M.C., Pereira L.C.C., Oliveira S.O. 2009. Morphodynamic changes of a macrotidal sand beach in the Brazilian Amazon coast (Ajuruteua-Pará). *Journal of Coastal Research*, SI 56: 103-107.
- Oliveira S.M.O. de, Pereira L.C.C., Vila-Concejo A., Gorayeb A., Sousa R.C. de, Souza Filho P.W.M., Costa R.M. da. 2011. Natural and anthropogenic impacts on a macrotidal sandy beach of the Brazilian Amazon (Ajuruteua): guidelines for coastal management. *Journal of Coastal Research*, SI 64: 1385-1389.
- Pereira L.C.C., Mendes C.M., Monteiro M.C., Asp N.E. 2009. Morphological and sedimentological changes in a macrotidal sand beach in the Amazon littoral (Vila dos Pescadores, Pará, Brazil). *Journal of Coastal Research*, SI 56: 113-117.
- Pereira L.C.C., Oliveira S.M. de O., Costa R.M., Costa K.G. da, Vila-Concejo A. 2013a. What happens on an equatorial beach on the Amazon coast when La Niña occurs during the rainy season? *Estuarine Coastal Shelf Science*, 135: 116-127.
- Pereira L.C.C., Pinto K.S.T., Costa K.G., Vila-Concejo A., Costa R.M. da. 2012b. Oceanographic conditions and human factors on the water quality at an Amazon macrotidal beach. *Journal of Coastal Research*, 285: 1627-1637.
- Pereira L.C.C., Pinto K.S.T., Vila-Concejo A. 2014a. Morphodynamic variations of a macrotidal beach (Atalaia) on the Brazilian Amazon Coast, *Journal of Coastal Research*, SI 70: 681-686.
- Pereira, L.C.C., Vila-Concejo, A., Costa, R.M., Short, A. 2014b. Managing physical and anthropogenic hazards on macrotidal Amazon beaches. *Ocean & Coastal Management*, 96: 149-162.
- Pereira, L.C.C., Silva, N.I.S. da, Costa R.M., Asp N.E., Costa K.G. da, Vila-Concejo A. 2012a. Seasonal changes in oceanographic processes at an equatorial macrotidal beach in northern Brazil. *Continental Shelf Research*, 43: 95-106.
- Pereira L.C.C., Vila-Concejo A., Short A.D. 2013b. Influence of subtidal sand banks on tidal modulation of waves and beach morphology in Amazon macrotidal beaches. *Journal of Coastal Research*, SI 65: 1821-1826.
- Pereira L.C.C., Vila-Concejo A., Trindade W.N., Short A.D. 2011. Influence of high-energy conditions on beach changes in tide-dominated (Amazon, Brazil) and wave-dominated (NSW, Australia) coastal environments. *Journal of Coastal Research*, SI 64: 115-119.
- Pinto K.S.T., Pereira L.C.C., Vila-Concejo A., Gorayeb A., Sousa R.C. de, Costa R.M. da. 2011. Effects of the lack of coastal planning on water quality and land use on a macrotidal beach (Atalaia, Pará) in the Amazon region. *Journal Coastal Research*, SI 64: 1401-1405.
- Sénéchal N., Gouriou T., Castelle B., Parisot J.-P., Capo S., Bujan S., Howa H. 2009. Morphodynamic response of a meso- to macro-tidal intermediate beach based on a long-term data set. *Geomorphology*, 107: 263-274.
- Short A.D. 2006. Australian beach systems - nature and distribution. *Journal Coastal Research*, 22 (1): 11-27.
- Silva I.R. da, Pereira L.C.C., Guimarães D. de O., Trindade W.N., Asp N.E., Costa R.M. da. 2009. Environmental status of urban beaches in São Luís (Amazon Coast, Brazil). *Journal of Coastal Research*, 56: 1301-1305.
- Silva N.I.S. da, Pereira L.C.C., Vila-Concejo A., Gorayeb A., Sousa R.C. de, Asp N.E., Costa R.M. da. 2011. Natural and social conditions of Princesa, a macrotidal sandy beach on the Amazon Coast of Brazil. *Journal Coastal Research*, SI 64: 1979-1983.
- Souza-Filho P.W.M., El-Robrini M. 1996. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da Planície Costeira Bragantina – Nordeste do Pará (Brasil). *Geonomos*, 4 (2): 1-16.
- Souza-Filho P.W.M., Paradella W.R. 2002. Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon region) form and Landsat TM and Radarsat-1 data. *Wetlands Ecology and Management*, 10, 123 -132.
- Souza-Filho P.W.M., Tozzi H.A.M., El-Robrini M. 2003. Geomorphology, landuse and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal sandy beach, northern Brazil. *Journal of Coastal Research*, SI 35: 580-589.
- Wright L.D., Short A.D. 1984. Morphodynamic Variability of Surf Zones and Beaches a Synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.

Recebido 06 de maio de 2014
Aceito 08 de outubro de 2014