

# *Pesquisas em Geociências*

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

---

## **Variabilidade temporal da posição dos bancos arenosos da praia do Cassino (RS): uma análise através de imagens de vídeo**

*Pedro de Souza Pereira, Lauro Júlio Calliari, Rafael M. C. Guedes, Carlos A. F. Schettini*  
*Pesquisas em Geociências, 39 (3): 195-211, set./dez., 2012.*

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/37370>

---

Publicado por

## **Instituto de Geociências**

---



## **Portal de Periódicos**

# **UFRGS**

UNIVERSIDADE FEDERAL  
DO RIO GRANDE DO SUL

---

### **Informações Adicionais**

**Email:** [pesquisas@ufrgs.br](mailto:pesquisas@ufrgs.br)

**Políticas:** <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

**Submissão:** <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

**Diretrizes:** <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

---

Data de publicação - set./dez., 2012.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

## Variabilidade temporal da posição dos bancos arenosos da praia do Cassino (RS): uma análise através de imagens de vídeo

Pedro de Souza PEREIRA<sup>1</sup>, Lauro Júlio CALLIARI<sup>2</sup>, Rafael Marcondes Carvalho GUEDES<sup>3</sup> & Carlos Augusto França SCHETTINI<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Oceanografia Geológica. Departamento de Oceanografia. Universidade Federal de Pernambuco. Av. Arquitetura, s/n, Cidade Universitária. CEP 50740-550, Recife, PE. E-mail: psppraia@gmail.com.

<sup>2</sup>Laboratório de Oceanografia Geológica. Instituto de Oceanografia. Universidade Federal do Rio Grande. Av. Itália, km 8, C.P. 474, CEP 96201-900, Rio Grande, RS. E-mail: lcalliari@log.furg.br.

<sup>3</sup>University of Waikato. Department of Earth and Ocean Sciences. Private Bag 3105, Hamilton 3240, New Zealand. E-mail: rmcg1@waikato.ac.nz.

<sup>4</sup>Laboratório de Hidrodinâmica Costeira, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco. Av. Arquitetura, s/n, Cidade Universitária, CEP 50740-550, Recife, PE. E-mail: guto.schettini@gmail.com.

Recebido em 04/2011 Aceito para publicação em 08/2012

Versão online publicada em 28/02/2013 ([www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br](http://www.pesquisasemgeociencias.ufrgs.br))

**Resumo** - As praias constituem sistemas dinâmicos onde ondas, marés, correntes e ventos interagem com sedimentos resultando em complexos processos hidro e morfodinâmicos, sendo os bancos arenosos uma das feições mais comuns nesses ambientes. O principal objetivo do presente trabalho foi analisar a variabilidade temporal da posição dos bancos da praia do Cassino (RS) com base em observações de alta resolução espaço-temporal utilizando técnicas de vídeo imageamento. A base de dados utilizada compreende o período entre abril de 2005 até abril de 2007. Os resultados indicam que a praia do Cassino é formada por um sistema de múltiplos bancos, com ocorrência mais comum de três bancos. Em especial foi registrado um evento de surgimento de um banco a partir da divisão do banco intermediário, acompanhado da gradual migração do banco externo costa a fora até seu desaparecimento. Durante este processo a praia apresentou quatro bancos. As séries de dados indicaram diferentes componentes temporais, entre elas a subsazonal, a sazonal, a mensal e a semanal, sendo que esta última demonstrou maior representatividade na variabilidade total dos dados, apresentando ainda correlação significativa com a variabilidade diária da altura das ondas.

**Palavras-chave:** bancos arenosos, sistema de vídeo monitoramento, componentes temporais, dinâmica costeira, praias.

**Abstract** - ANALYSIS OF THE TEMPORAL VARIABILITY OF CASSINO (RS) BEACH SANDBARS POSITIONS THROUGH VIDEO IMAGES. Beaches are dynamic systems where natural elements like winds, water waves and sand interact resulting in complex hydrodynamical and sedimentary processes. Among the many morphological features presented at those environment, the sandbars are one of the most common features. In this context the main objective of the present study was to discuss the Cassino beach (RS) sandbars behavior at different temporal scales using for such purpose a two years time series of their position. To achieve the main goal, this paper used remote sense techniques such as video imaging. Analysis of the time series showed that Cassino beach presents a multiple bar system composed mainly by three bars. In addition, the emergence of a new bar by the split of the second (intermediate) one in two was observed, in an unprecedented manner in the scientific literature. During this period of time, before the total disappearance of the most offshore sandbar, the system was characterized as a four sandbars system. The analysis also indicated the presence of different temporal components such as seasonal, sub-seasonal, monthly and weekly components, in which the last has the greatest representation of the total variance as well as a significant correlation with significant wave height variability.

**Keywords:** sandbars, video monitoring system, new bar formation, temporal components.

### 1. Introdução

As praias constituem sistemas dinâmicos onde ondas, marés, correntes e ventos interagem com sedimentos resultando em complexos processos hidro e morfodinâmicos, sendo os bancos arenosos uma das feições morfológicas mais comuns nesses ambientes. Os bancos ocor-

rem normalmente paralelos à praia, e armazenam grandes volumes de sedimentos, desempenhando um importante papel na dissipação da energia das ondas, protegendo assim a costa.

Fatores como altura e período das ondas, bem como a velocidade de decantação dos sedimentos, possuem grande influência na geometria dos bancos (e.g. Larson & Kraus, 1989),

embora ainda não exista consenso a relação entre a dinâmica e a morfologia dos bancos arenosos.

A ação das ondas de tempestades sobre a morfologia e posição dos bancos é bastante intensa, podendo fazer com que estes se desloquem dezenas de metros em questão de horas (Van Enckevort & Ruessink, 2003). As ondas são o principal agente modelador do ambiente praias e suas variações temporais afetam diretamente a dinâmica dos bancos. Dessa forma, variações sazonais - e até mesmo interanuais - são esperadas no comportamento da morfologia praias e nos bancos arenosos.

Johnson (1949) estudou as variações morfológicas encontradas nos perfis praias frente à variação da altura das ondas e cunhou-os termos perfil de tempestade e normal para a forma encontrada nos perfis, utilizados atualmente. Shepard (1950) demonstrou em campo o efeito da ação das ondas sobre o comportamento do perfil praias e propôs o modelo conceitual que ilustra a diferente forma da praia de acordo com a posição do estoque sedimentar e a energia das ondas. O modelo discrimina dois padrões distintos de estoque sedimentar: 1) na forma de bancos arenosos, em condição de alta energia de ondas (perfil de inverno); 2) e na forma de berma, em condição de baixa energia de ondas (perfil de verão).

Os bancos arenosos apresentam variações interanuais na forma de ciclos morfológicos, além das variações sazonais e semanais causadas por tempestades (Birkemeier, 1984; Lippmann *et al.*, 1993; Ruessink & Kroon, 1994; Ruessink & Terwindt, 2000). Durante os ciclos, bancos novos surgem próximo à costa enquanto o mais antigo e mais externo migra rumo ao oceano (Ruessink & Kroon, 1994). Esse ciclo é normalmente composto por três fases: geração, migração e decaimento (Ruessink & Terwindt, 2000). A fase de geração normalmente ocorre próximo à linha de praia, com um banco desprendendo-se da mesma. A fase de migração é denominada *NOM* (do inglês *Net Offshore Migration*) e representa o período no qual o banco migra costa adentro. Na etapa de decaimento o banco que migra aumenta a largura e diminui a altura, reduzindo a sua competência na dissipação da energia das ondas. No entanto, a variabilidade temporal dos bancos relacionada ao *NOM* não apresenta relação significativa com variações interanuais do clima de ondas (Lippmann *et al.*, 1993). Este comportamento foi registrado em diversos lugares independentemente do tipo de maré, tamanho do grão e clima de ondas (Shand & Bailey, 1999; Rues-

sink *et al.*, 2003; Ruessink *et al.*, 2009).

A dinâmica dos bancos arenosos ainda é pouco estudada no Brasil, devido em parte à dificuldade de manter programas de monitoramento de longa duração. O uso de técnicas de sensoramento remoto com câmeras digitais tem permitido a obtenção de séries temporais dados morfodinâmicos praias a custos acessíveis (Lippmann & Holman, 1990). Em 2005 foi instalado na Praia do Cassino, Rio Grande, RS, um conjunto de câmeras operando o sistema Argus, o que vêm permitindo a realização de diversos estudos morfodinâmicos. O objetivo do presente trabalho é, com base em séries temporais registradas entre 2005 e 2007, analisar o ciclo dos bancos arenosos bem como quantificar as variações temporais de médio termo dos mesmos. Foram utilizadas séries temporais relativas à posição dos bancos apresentando dois enfoques distintos: o primeiro deteve-se na análise de parte do *NOM* observado utilizando séries temporais contendo as posições dos bancos registradas três vezes ao dia, enquanto o segundo baseou-se na análise das séries das posições diárias dos bancos ao longo de dois anos.

## 2. Área de estudo

A praia do Cassino se estende entre a desembocadura do Arroio Chuí na fronteira do Brasil com o Uruguai ao sul, até a desembocadura da Lagoa dos Patos ao Norte com 220 km de extensão. Foi primeiramente estudada por Calliari & Klein (1993) que a classificaram como sendo do tipo dissipativa de acordo com a classificação morfodinâmica proposta por Wright & Short (1984), apresentando granulometria fina (2,68  $\phi$  ou 0,16 mm; Figueiredo & Calliari, 2006).

O regime de marés na costa do Rio Grande do Sul é do tipo micro-maré, com altura máxima da ordem de 0,8 m (Möller *et al.*, 2001). No entanto, a região é marcada pela ocorrência de ciclones extratropicais que resultam em marés meteorológicas cuja altura pode atingir até dois metros (Calliari *et al.*, 1998).

As ondulações apresentam direção predominante de sul e sudeste. A climatologia indica duas condições dominantes: uma dominada por ondulações de leste/leste-sudeste (100°) cuja altura significativa média é de 1,0 m e cujo período encontra-se na faixa de 10 a 12 s; e outra dominada por vagas de sul/sudeste (160°) cuja altura significativa média é de 1,5 m, apresentando períodos na

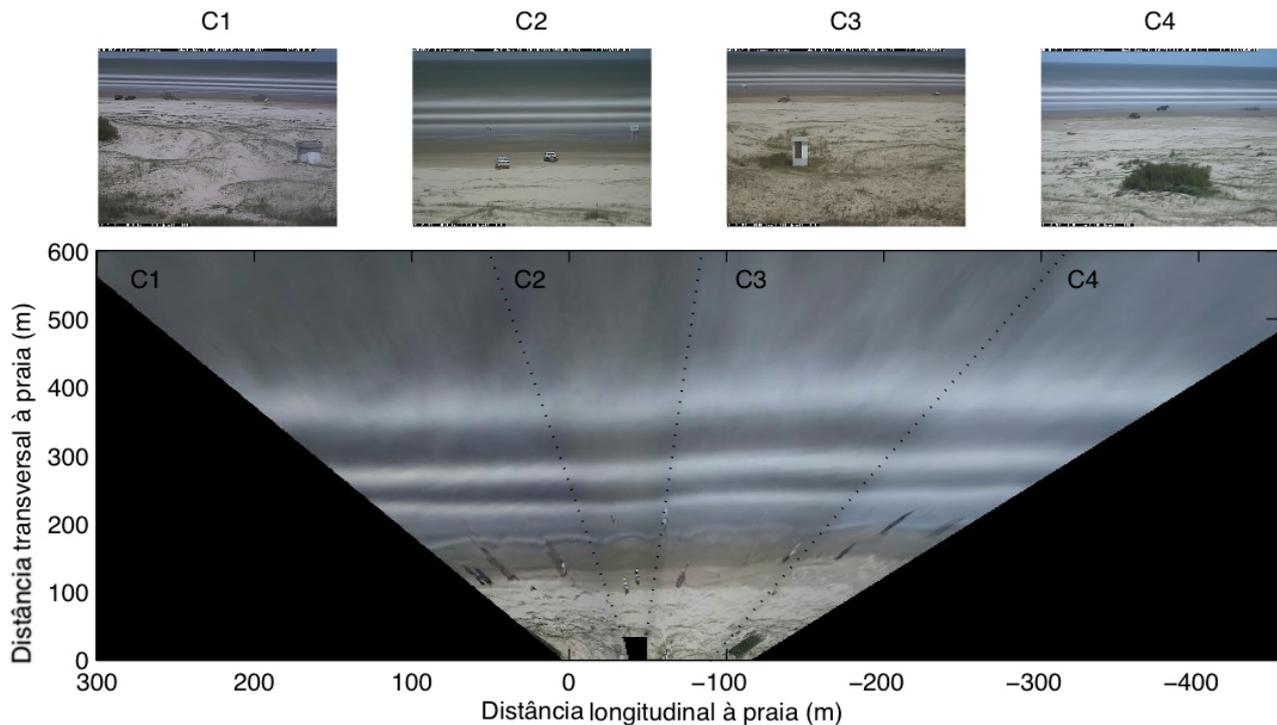


Figura 1. Os quatro quadros menores no topo representam exemplos de imagens do tipo *timex*, coletadas no dia 14 de janeiro de 2006, às 17 horas GMT, por cada uma das quatro câmeras (C1, C2, C3 e C4). A imagem inferior representa o mosaico retificado composto pelas mesmas quatro imagens. O eixo transversal à costa cresce no sentido do mar. As três linhas brancas paralelas nessa imagem representam o primeiro, segundo e terceiro banco arenoso,  $x=240$ ,  $280$  e  $380$  m, respectivamente.

faixa de 6 a 8 s (Strauch, 1998).

Tozzi & Calliari (2000) estudaram o comportamento morfodinâmico da praia adjacente ao molhe oeste da barra do Rio Grande e observaram o aumento da mobilidade em direção ao sul, à medida que se afastam da zona de sombra da estrutura. Terra (2003) observou a presença de quatro bancos arenosos através do uso de um trenó submarino. Pereira & Calliari (2005) e Guedes *et al.* (2009) estudaram o comportamento dos bancos arenosos na zona de surfe, concluindo que os mesmos apresentam migração para a costa em situações de baixa energia.

### 3. Materiais e métodos

#### 3.1. Sistema Argus

O sistema Argus começou a ser desenvolvido no início da década de 80 na costa oeste dos Estados Unidos (Holman & Stanley, 2007). O sistema consiste em conjunto de vídeo câmeras, localizadas no alto de falésias, torres ou faróis, conectadas a um computador para registro das imagens em intervalos pré-determinados da praia e zona de arrebentação, enquanto há iluminação natural.

A estação Argus da praia do Cassino está instalada na Estação Marinha de Aquicultura

(EMA-FURG), na localidade da Querência. O sistema é composto por quatro câmeras de vídeo instaladas no topo de uma torre com 14 m de altura e distante cerca de 300 da linha d'água. O sistema foi instalado em março de 2005 e está em operação até o momento.

São geradas três tipos de imagens: *snap shot*, *timex* e *variance*. A imagem *snap shot* representa uma imagem instantânea da praia e da zona de surfe. A imagem *timex* é composta da média de 600 imagens instantâneas coletadas em intervalos de um segundo. A imagem *variance* fornece o desvio padrão das mesmas 600 imagens utilizadas na confecção da imagem *timex*.

A figura 1 apresenta exemplos de imagens do tipo *timex* para cada uma das quatro câmeras. Com base nas características das câmeras e das lentes, como distância focal e distorção das lentes, é possível converter as imagens oblíquas em mosaicos de imagens planas com o uso de equações colineares e pontos de controle no solo (Holland *et al.*, 1997). Esse processo resulta em uma imagem plana com resolução variada, de acordo com a resolução do sensor digital de cada câmera e do zoom das lentes. A resolução das imagens do sistema do Cassino varia desde um metro, próximo à linha de praia, até 20m no ponto mais afastado (canto superior esquerdo da C1 – Fig. 1). A imagem retificada do

Cassino apresenta um grid de 1 m x 1 m, com um sistema local de coordenadas com o eixo X transversal à costa e o eixo Y paralelo à costa. A cobertura máxima das câmeras ao longo da praia atinge 750 m no limite mais externo das imagens e cerca de 350 m próximo à linha de costa ( $x=190$  m na Fig. 1).

### 3.2. Identificação da posição dos bancos

A posição dos bancos pode ser determinada através da análise dos picos de intensidade luminosa das imagens retificadas (Lippmann & Holman, 1989). Os picos de intensidade luminosa encontrados sobre os bancos em imagens de longa exposição são indicativos da posição dos bancos, pois indicam a zona de arrebentação nas porções mais rasas, evidenciado pela produção de espuma que apresentam alto contraste nas imagens. A figura 2 traz um exemplo dos referidos picos de intensidade luminosa sobre os bancos, em uma imagem do tipo *variance* que mostra a presença de três bancos (três picos de intensidade), bem como a posição da linha d'água, marcada por um pequeno pico de intensidade próximo à praia. Foi utilizado o método *Shoreline Intensity Maximum (SLIM; Plant & Holman, 1997)*, desenvolvido inicialmente para identificar a linha d'água, e aperfeiçoado por Madsen & Plant (2001). O método foi avaliado preliminarmente na praia do Cassino por Guedes (2008).

A eficiência no método SLIM apresentou boa correlação entre as posições estimadas remotamente por meio do Argus e aquelas adquiridas em campo por meio de métodos topográficos tradicionais. O erro médio quadrático estimado foi da ordem de 17 m para as médias diárias de imagens do tipo *variance* e 14 m para as imagens do tipo *timex* (Guedes, 2008).

Devido a períodos de condições meteorológicas desfavoráveis como chuva ou neblina, ou ainda devido à sujeira sobre as lentes, torna necessária a verificação da qualidade das imagens obtidas. Foram utilizados os valores de desvio padrão e média da intensidade luminosa como indicador de qualidade das imagens. Imagens cujo desvio padrão fosse inferior a 10 e a média superior a 120 eram descartadas como sendo inapropriadas para identificação dos bancos.

Séries temporais foram extraídas da base de dados de imagens em duas formas. Uma a partir de imagens obtidas às 13:00, 16:00 e 19:00 horas GMT para o período entre de 24 de maio a 22 de agosto de 2005. Durante este período houve também o registro de dados de ondas com um perfilador acústico de correntes por efeito Doppler, da marca *Nortek* modelo *Aquadop Profiler (NDP)*, instalado 3 km costa a fora em profundidade de 7,5 m. A partir dos dados registrados pelo NDP foram obtidos o nível da água e calculados parâmetros de ondas como altura significativa ( $H_s$ ), período de pico ( $T_p$ ) e direção de incidência ( $Dir$ ). Esta série foi utilizada para avaliar o processo de migração costa a fora atribuído ao *NOM*. A tendência geral da posição dos bancos foi estimada ajustando os dados a uma regressão do tipo linear. Os resíduos então foram calculados através da subtração dos dados brutos pela tendência.

A outra série consistiu de imagens de médias diárias derivadas das imagens *Timex* e *Variance* (*dayTimex* e *dayVariance; Holman & Stanley, 2007*), para o período de abril de 2005 até abril de 2007. Esta série foi utilizada para o estudo do comportamento temporal da posição média dos bancos (XB), onde a contribuição de componentes temporais tais como a componente anual, sazonal, subsa-

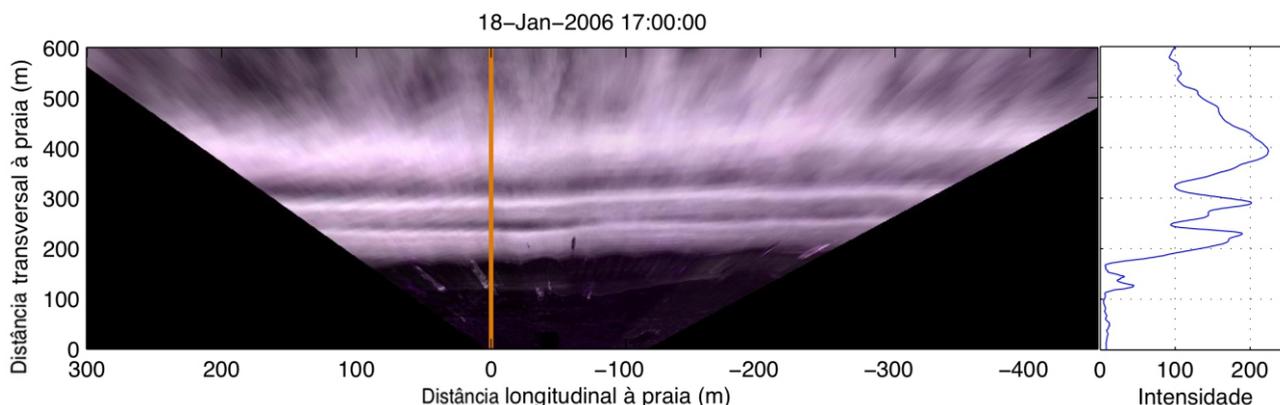


Figura 2. Imagem do tipo *variance* para a praia do Cassino no dia 18 de janeiro de 2006 às 17 GMT. O detalhe ao lado da imagem corresponde aos valores de intensidade da linha  $x=0$  m da imagem. Notar a equivalência da posição entre os picos do transecto e as linhas brancas da imagem.

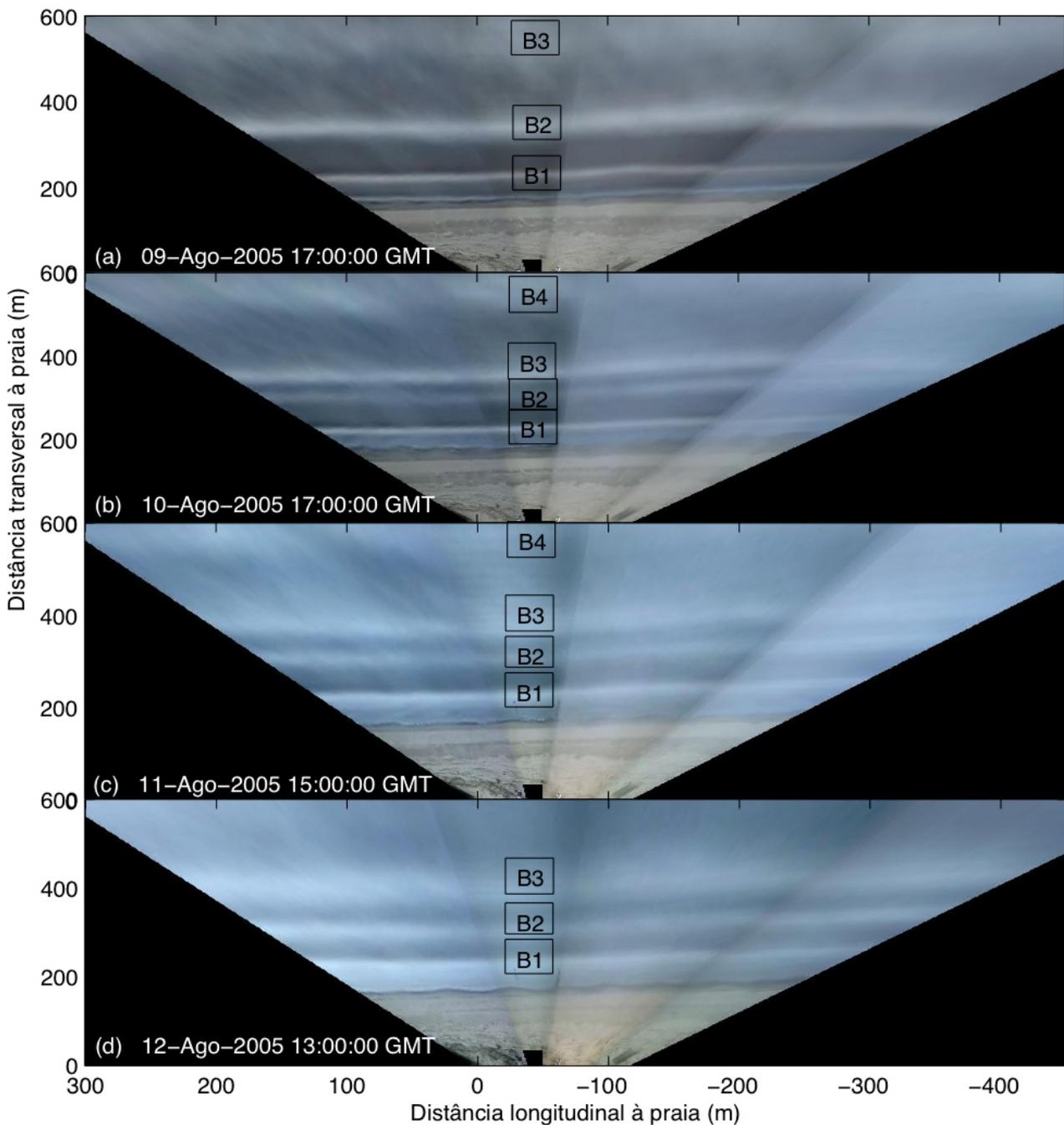


Figura 3. Mosaicos de imagens do tipo *timex* em sequência ilustrando o surgimento de um novo banco. As siglas B1, B2, B3 e B4, representam o primeiro, segundo, terceiro e quarto banco, respectivamente.

zonal, mensal e semanal foram estimadas através do uso de um filtro passa baixa do tipo Lanczos-Cosseno (Thompson, 1983). Este tipo de abordagem vem sendo utilizada por muitos autores para a análise das séries temporais em diversas praias do mundo (e.g. Quartel *et al.*, 2007; Ojeda *et al.*, 2008; Ruessink *et al.*, 2009) tendo sido primeiramente utilizado por Van Enckevort & Ruessink (2003). Após a remoção da tendência interanual ( $X_{ia}$ ) da série por meio de uma regressão linear, aplicou-se o filtro aos dados com janelas diferentes com o intuito de extrair cada componente, onde a cada realização da filtragem a componente filtrada era remo-

vida da série antes do cálculo da componente seguinte.

Primeiramente, utilizou-se uma janela de 365 dias para remoção da componente anual,  $X_a$ . O resíduo ( $X_B - X_{ia} - X_a$ ) foi filtrado utilizando uma janela de 181 dias para extração da componente sazonal,  $X_s$ . Por sua vez, o novo resíduo ( $X_B - X_{ia} - X_a - X_s$ ) foi filtrado com uma janela de 91 dias para remoção da componente subsazonal,  $X_{sb}$ . Mais uma vez o resíduo ( $X_B - X_{ia} - X_a - X_s - X_{sub}$ ) era filtrado para obtenção da componente mensal,  $X_m$ , cuja janela utilizada foi de 30 dias. Por fim, o resíduo final da série ( $X_B - X_{ia} - X_a - X_s - X_{sub} - X$ ) é con-

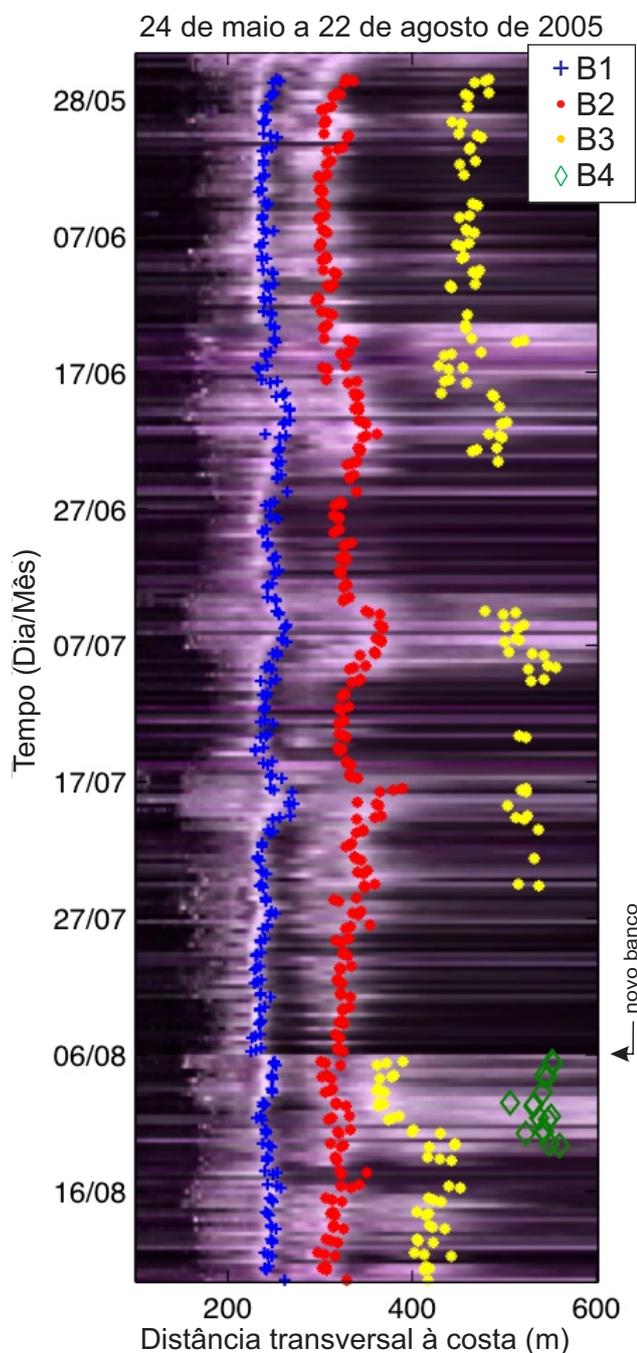


Figura 4. Posição dos bancos estimada às 13h, 16h e 19h (GMT) para cada dia entre 24 de maio e 22 de agosto de 2005. A imagem de fundo corresponde a um *timestack* de imagens do tipo *variance*, que corresponde a uma série temporal de uma linha de pixels perpendicular às imagens coletadas nos mesmos horários da estimativa das posições.

siderado como sendo a componente semanal, Xse. Esse procedimento foi realizado para cada um dos bancos.

#### 4. Resultados e discussões

##### 4.1. Ciclo dos bancos arenosos

Alguns meses após a instalação do sistema Argus na praia do Cassino, foi registrado o surgi-

mento de um novo banco no dia 10 de agosto de 2005, precisamente 161 dias após o registro da primeira imagem pelo sistema. Conforme visto na figura 3A-B, entre os dias 09 e 10 de agosto, o atual segundo banco se divide dando origem a um novo banco (aproximadamente em  $x=300\text{m}$ , Fig. 3B), tal fato é evidenciado pela presença de duas linhas de quebra indicativa de bancos conforme previamente apresentado no item 3.2. Apesar do processo do surgimento do banco ter sido evidenciado na imagem *timex* do dia 10 de agosto, esse processo já era visível nas imagens de variância a partir do dia 06 de agosto como observado na figura 4.

Conforme ilustra a figura 4, o sistema praiado do Cassino passa então a ser composto por quatro bancos onde o antigo terceiro banco passa a desempenhar o papel de quarto banco (Fig. 4). A presença do quarto banco na zona de surfe só pôde ser observada entre os dias 06 e 12 de agosto. A partir do dia 12, devido à diminuição da altura das ondas (Fig. 5a) e possível aumento da profundidade sobre o banco, esse banco não se tornou mais visível pelo ponto de vista do sensoriamento remoto, dada a inexistência de quebra de ondas sobre o mesmo. A partir desse ponto do trabalho em diante, os bancos passam a ser referidos como B1, B2, B3 e B4, de forma que o B1 representa o banco mais próximo da linha de costa e o B4 o mais afastado.

Através da análise detalhada das posições (Figs. 4 e 6) foi possível observar que logo após o seu surgimento o novo terceiro banco tendeu rapidamente a migrar em direção ao oceano. Em um espaço de tempo de aproximadamente seis dias, o novo banco migrou cerca de 56m, a uma média de 9,3m por dia.

Conforme mencionado na introdução, os bancos arenosos de certas praias apresentam ciclos nos quais surgem, migram rumo ao oceano e desaparecem (Ruessink & Kroon, 1994). As imagens apresentadas na figura 3 ilustram o processo de surgimento (primeira etapa). As figuras 4 e 6 mostram o processo de migração (segunda etapa) do terceiro banco que antecede o surgimento do novo banco, bem como a etapa de desaparecimento do quarto banco (terceira etapa).

Apesar de as imagens ilustrarem somente a posição dos bancos e não os parâmetros como a sua amplitude e largura, a sequência observada encontra-se bem discutida na literatura (eg. Ruessink & Kroon, 1994; Ruessink *et al.*, 2003; Grunnet & Hoekstra, 2004) induzindo a conclusão de que o quarto banco desaparece do sistema praiado.

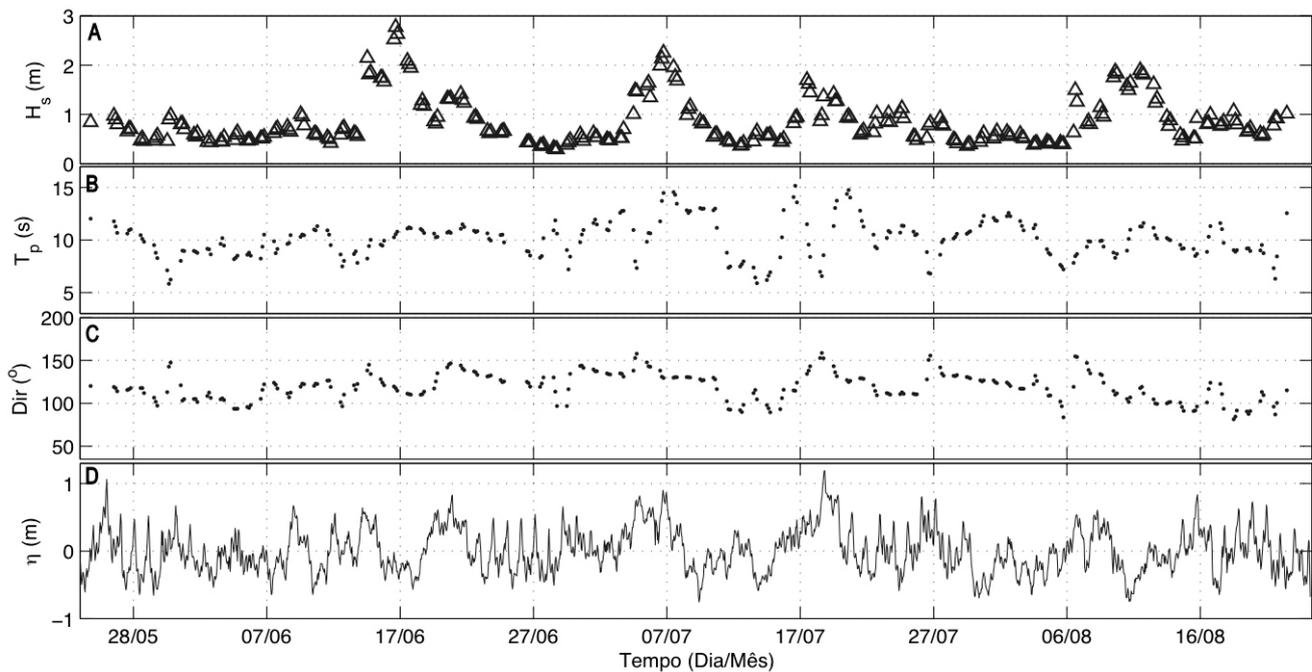


Figura 5. Dados de ondas e nível coletados durante o experimento Cassino a uma profundidade de 8 m. A) Altura significativa -  $H_s$ ; B) período de pico -  $T_p$ ; C) direção de incidência; D) nível da água -  $\eta$ .

Tal fato é corroborado pela ausência de uma quarta linha de quebra durante os vinte meses subsequentes conforme será abordado na próxima seção. O surgimento do novo banco está intimamente relacionado ao afastamento do banco mais externo (mais antigo) da costa. Conforme já é sabido, os bancos arenosos apresentam grande mobilidade, hora mais afastados da costa, hora mais próximos, de acordo com o clima de ondas (Gallagher *et al.*, 1998; Elgar *et al.*, 2001). Segundo Ruessink *et al.* (2009) a migração do banco mais externo para fora do sistema é impulsionada por ondas cuja altura é de três a quatro vezes superior a média anual. Durante esses eventos, o banco externo migra de maneira anormal, decaindo logo depois. É justamente no próximo evento de tempestade que o banco mais interno, mais próximo da costa é forçado a ocupar o lugar do antigo banco externo, surgindo nesse momento um novo banco.

À medida que o banco mais externo diminui a sua amplitude, o seu potencial de dissipação é também reduzido, fazendo com que menos ondas passem a quebrar sobre o mesmo, aumentando assim a energia de ondas recebida pelo mais interno. Dessa forma, acredita-se que esse aumento de energia sobre o banco mais interno seja o “gatilho” para a geração do novo banco.

O processo em si, da formação de um banco a partir da divisão de um outro dentro do ciclo geomorfológico, não apresenta precedente ou referência na literatura científica consultada; no entanto,

diversas teorias já existem para explicar a origem dos mesmos. Dentre as mais conhecidas estão a de formação dos bancos pela teoria do ponto de quebra (Aagaard *et al.*, 1998), a formação associada a ondas de infragravidade (Short, 1975; Carter, 1988) e, por fim, através de mecanismos autorreguladores (Coco & Murray, 2007). Para uma revisão mais completa sobre o tema consultar Holman & Sallenger (1993) e Wijnberg & Kroon (2002). Determinar qual mecanismo seria o mais provável responsável pela criação do novo banco não é uma tarefa simples, sendo necessária a presença de diversos instrumentos de medição na zona de surfe, o que está além do escopo do presente trabalho.

Parte da sequência do ciclo dos bancos pode ser ilustrada em termos da tendência geral e do residual de cada banco, conforme ilustrado na figura 6. Antes mesmo de o novo banco surgir no dia 6 de agosto, o B3 já apresentava uma tendência de migração para fora do sistema. Com a migração do B3, o espaçamento entre este e o B2 aumenta gerando um desequilíbrio, tendo em vista que o espaçamento entre os bancos apresenta um equilíbrio representado por uma relação exponencial (Pruszek *et al.*, 1997). Para alcançar um novo equilíbrio, o B2 é então forçado a se afastar da costa como mostra a sua tendência geral (Fig. 6a).

Contrariamente ao padrão observado nos demais bancos, o B1 apresentou uma tendência de migração em direção oposta aos demais, em termos de médio prazo (Fig. 6a). Com o surgimento do novo banco, esse padrão se inverteu e mesmo que

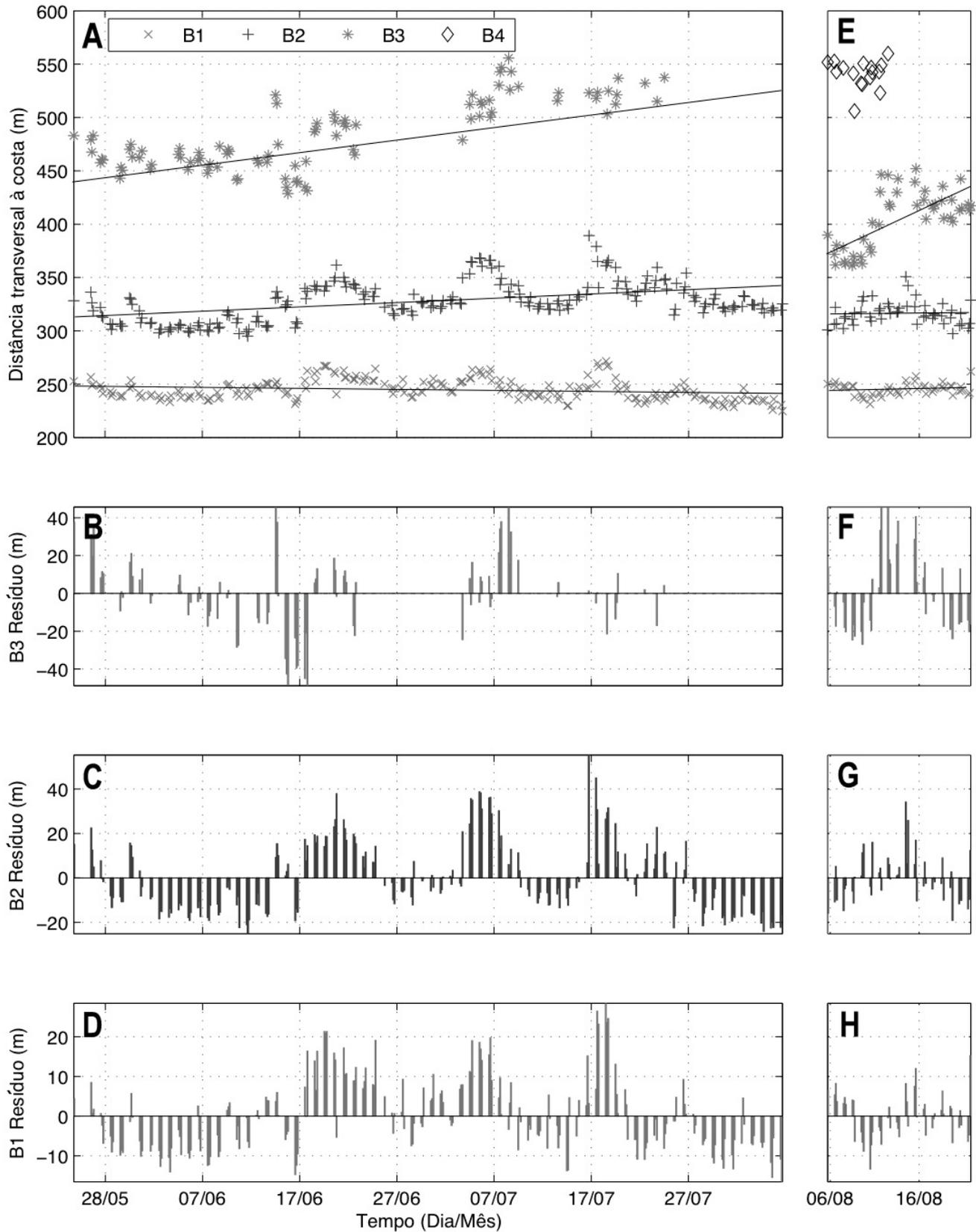


Figura 6. Posição estimada dos bancos (A e E). As linhas indicam a tendência geral da migração para cada banco. Os demais gráficos mostram o resíduo estimado para cada um dos bancos durante o NOM (B, C e D) e após o surgimento do novo banco (F, G e H).

de forma sutil, o B2 tendeu a se reaproximar da costa com o B1 se afastando da linha de costa (Fig. 6a). É interessante ressaltar ainda que a diferença entre os resíduos indicou não só como os bancos se comportaram em relação à tendência, mas também em relação à taxa de migração dos bancos (Fig. 6b, c e d). No período selecionado para análise do *NOM* foi observada a ocorrência de quatro eventos onde as ondas ultrapassaram a média dos dados de ondas medidos nesse período (Fig. 5a): dias 14/06, 03/07, 16/07 e 06/08.

A mobilidade dos bancos amostrados em relação ao clima de ondas pode ser observada comparando-se as posições dos mesmos nas datas referidas anteriormente. Observa-se na figura 6 a resposta quase que imediata dos bancos ao clima de ondas. Durante esses quatro eventos, os três bancos apresentaram uma migração no sentido oceano (Fig. 6a, b, c e d).

No período de calmaria entre os eventos acima citados, quando a altura média das ondas era de aproximadamente 0,75 m, tanto o B1 quanto o B2 apresentaram uma migração em direção à linha de praia, fato esse indicado pelos valores negativos dos resíduos. Essa condição de migração dos bancos rumo a costa com ondas abaixo de 1m já foi previamente observada por Pereira & Calliari (2005) e por Guedes *et al.* (2009), através de perfis de praia.

#### 4.2. Comportamento temporal dos bancos ao longo de dois anos

A figura 7 traz as posições dos bancos identificadas nas imagens do tipo *variance* entre abril de 2005 a abril de 2007. Durante esse período o B1 e o B2 estiveram ativos, com ondas arrebatando sobre os mesmos, em 98 % das imagens analisadas, já o B3 esteve ativo em 56 %. Cabe aqui ressaltar que a análise ao longo dos dois anos se deteve a um sistema de múltiplos bancos composto por apenas três, não analisando o chamado B4.

A tendência de migração no sentido costa afora do B3 durante o *NOM* pode ser observada também na figura 7. Durante o período estudado só foi possível observar apenas um caso do *NOM*. De acordo com Ruessink *et al.* (2003) os ciclos dos bancos arenosos apresentam diferentes periodicidades, variando de praia para praia. Estudando seis diferentes praias ao redor do globo, os referidos autores averiguaram que o período de ocorrência desses eventos varia de 3,3 (Duck, NC, EUA) a 15,1

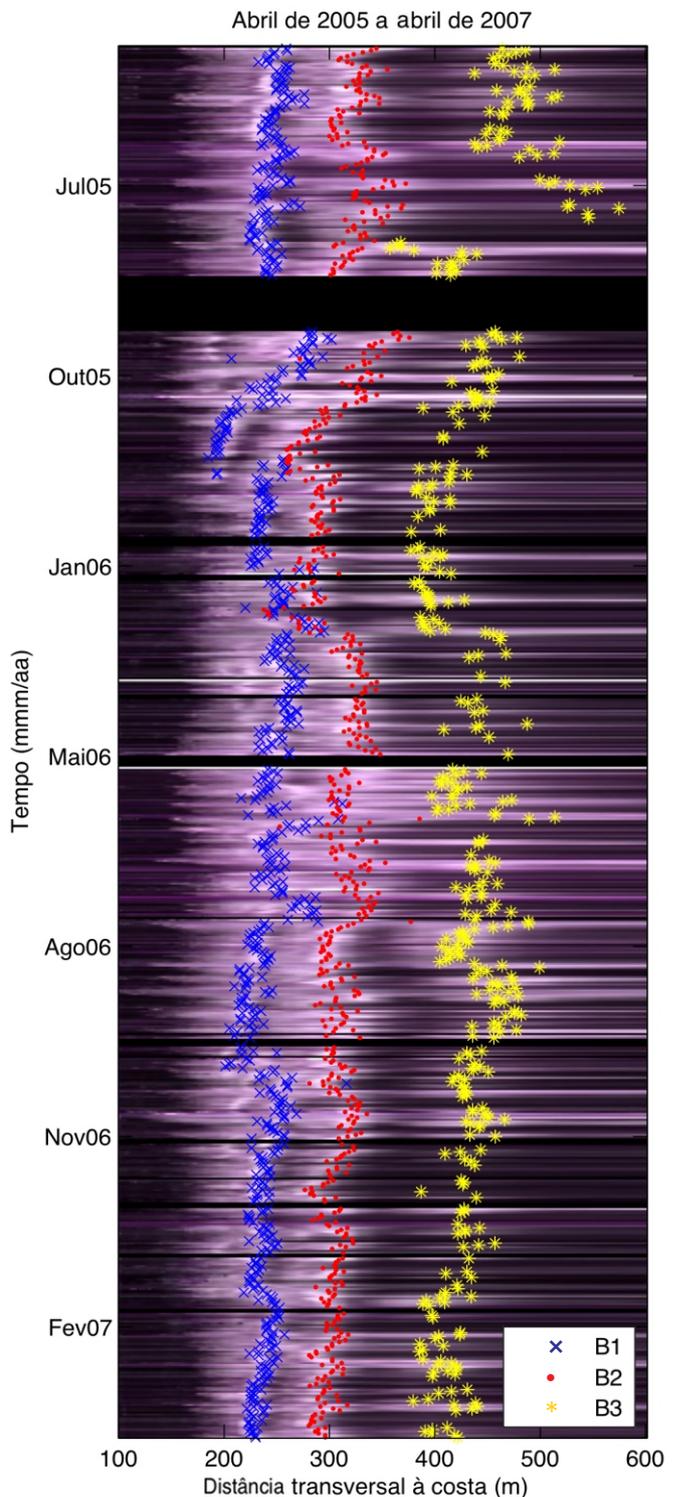


Figura 7. Posição diária dos bancos estimada entre abril de 2005 e abril de 2007. A imagem de fundo corresponde a um *timestack* de imagens do tipo *variance*. As lacunas pretas entre os dados representam dias onde não foi possível a aquisição de imagens por problemas técnicos.

anos (Noord-Holland, Holanda). Como o *NOM* registrado para a praia do Cassino não apresentou uma recorrência, ainda não foi possível determinar o período desse fenômeno, fazendo-se então necessário o monitoramento contínuo e subsequente extensão da série temporal aqui analisada.

Como é possível observar na figura 7, os dados apresentam diversos períodos de oscilação

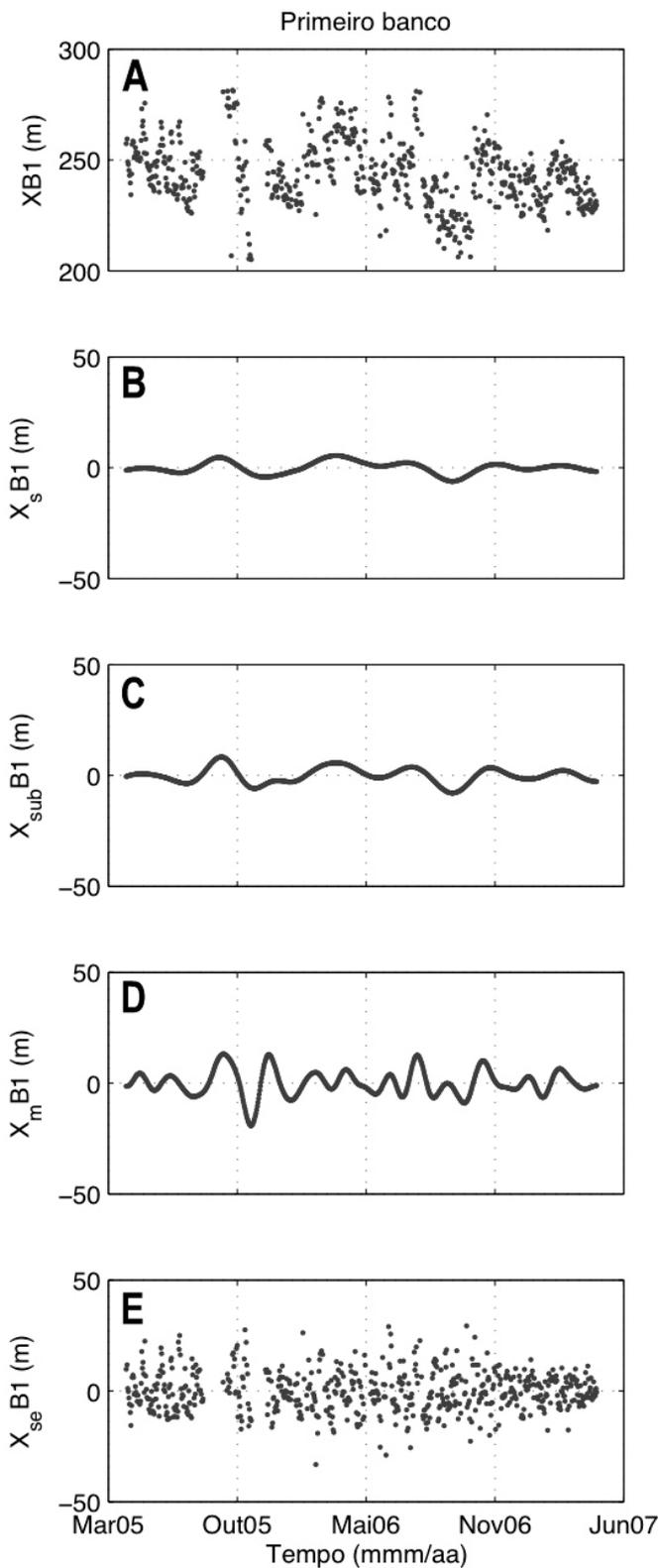


Figura 8. A) Série temporal bruta da posição do primeiro banco ( $X_{B1}$ ) e suas componentes filtradas: B) sazonal ( $X_s B1$ ); C) subsazonal ( $X_{sub} B1$ ); D) mensal ( $X_m B1$ ); E) e semanal ( $X_{se} B1$ ).

que variam desde alguns dias a meses. Para identificar quais componentes estão presentes nas séries temporais dos bancos foi utilizado o método descrito no item 3.4. As figuras 8 e 9 trazem os resultados das filtragens realizadas para o primeiro banco, bem como para o segundo e o terceiro, respecti-

vamente.

Por não apresentar significativa contribuição na variância total dos dados, optou-se por não descrever o comportamento da componente interanual. Tal fato é explicado pela falta de recorrência do *NOM* na série de dois anos aqui analisada.

Dentre os três bancos aqui analisados, o B3 foi o que apresentou uma variação sazonal mais evidente, encontrando-se mais próximo da costa nos meses de verão e mais afastado nos meses de inverno. Tal fato era esperado visto que esse comportamento já foi observado em diversas praias ao redor do mundo tendo sido relatado em inúmeros trabalhos científicos (eg. Lippmann & Holman, 1990; Van Enkevort & Ruessink, 2003; Ruessink *et al.*, 2009). Um aspecto interessante relativo à componente sazonal dos bancos é o fato do mesmo apresentar variações em sua amplitude entre os dois anos analisados bem como entre cada banco. No verão de 2006 os três bancos apresentaram suas posições mais próximas da costa do que no verão de 2007. Essa conclusão pode ser estendida às demais componentes (subsazonal, mensal e semanal).

Ainda em relação à figura 7, quando a componente sazonal é comparada com a série bruta, observou-se que o B2 esteve soldado ao B1 por mais de um mês (Fig. 9a), entre os dias 24 de janeiro e 27 de fevereiro de 2006, quando então esse banco desconectou-se migrando no sentido do oceano. Tal fato ocorreu justamente no período em que a componente sazonal para esse banco apresentou sua máxima proximidade em relação à costa. Esse comportamento relatado foi único ao longo de toda a série temporal estudada.

A componente seguinte a ser analisada é a subsazonal. Pela observação das figuras 8c e 9c e 9h foi possível averiguar a existência dessa componente, a qual apresentou uma oscilação em torno de 3 meses. Assim como para a componente sazonal, o B1 também apresentou um comportamento diferenciado dos demais bancos para a componente subsazonal, em termos da sua amplitude de oscilação (Fig. 8c).

A terceira componente a ser analisada, a mensal, foi a que apresentou a segunda maior variação na amplitude de oscilação. O B1 apresentou maiores variações em sua posição relacionadas a esta componente durante os meses da primavera e verão de 2006 (Fig. 8d), sobretudo nos meses da primavera. Esse comportamento observado não foi encontrado nos bancos B2 (Fig. 9d) e B3 (Fig. 9i),

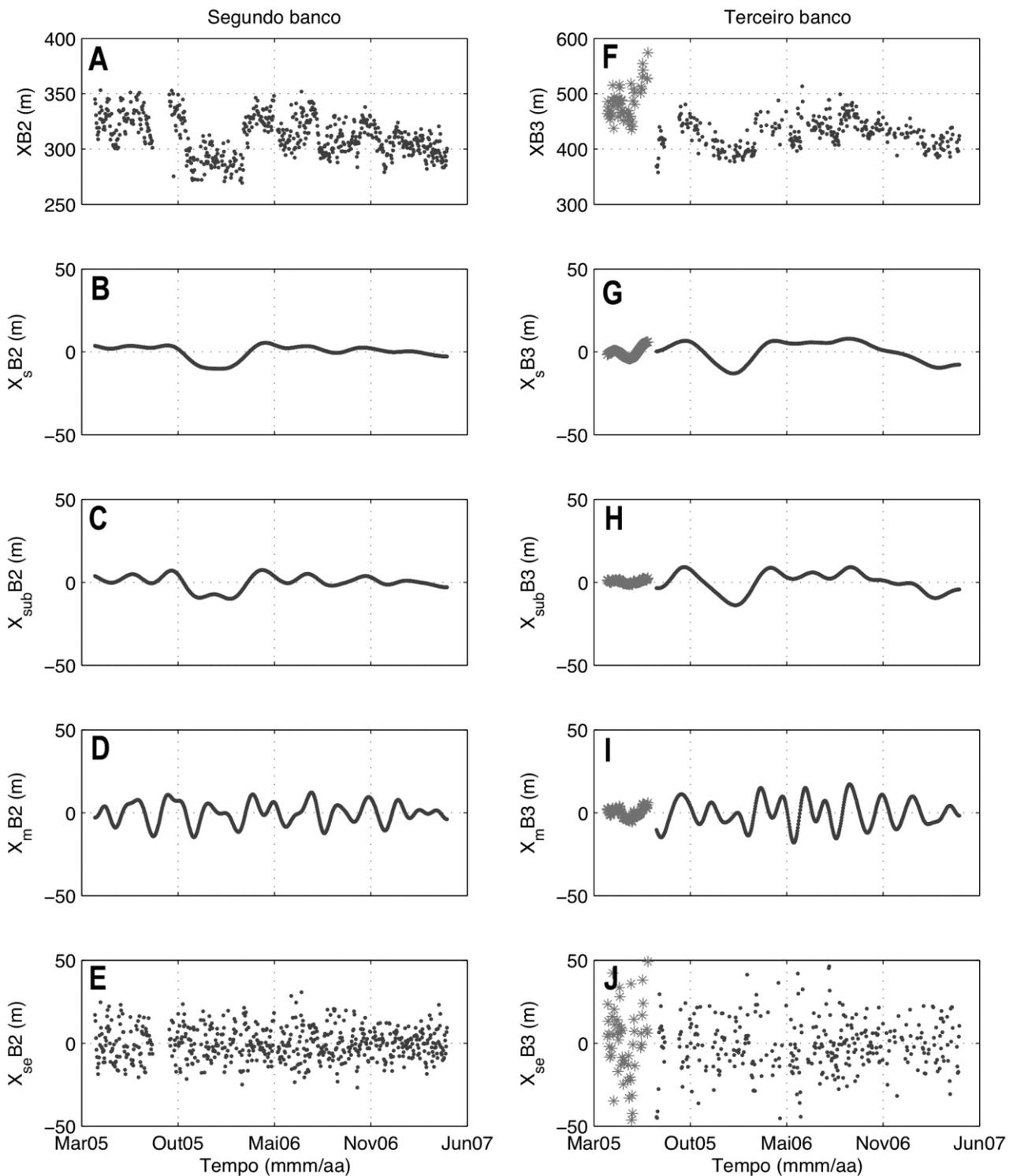


Figura 9. A) e F) Séries temporais brutas das posições do segundo (XB2) e terceiro banco (XB3), respectivamente, e suas componentes filtradas: B) e G) sazonal ( $X_s B2$  e  $X_s B3$ ); C) e H) subsazonal ( $X_{sub} B2$  e  $X_{sub} B3$ ); D) e I) mensal ( $X_m B2$  e  $X_m B3$ ); E) e J) e semanal ( $X_{se} B2$  e  $X_{se} B3$ ), respectivamente. As posições do B3 representadas por um asterisco indicam o período de ocorrência do NOM (A e F).

muito pelo contrário, ambos bancos apresentaram menores variações mensais justamente nesse período. O B3 por sua vez exibiu maiores variações da componente mensal nos meses de outono e inverno de 2006, apresentando uma maior amplitude de oscilação que tende a diminuir com a aproximação dos meses da primavera de 2006 e do verão de 2007.

A comparação entre a componente mensal

do B2 (Fig. 9d) e B3 (Fig. 9i) e os dados da altura média diária das ondas provindos do modelo de previsão de onda global *Wave Watch III*, disponibilizados pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP/NOAA, 2008) leva a constatação de que as maiores variações dessa componente não só podem como devem estar relacionadas aos meses com maior altura de ondas (Fig. 10). Dessa forma, as maiores variações dessa componente

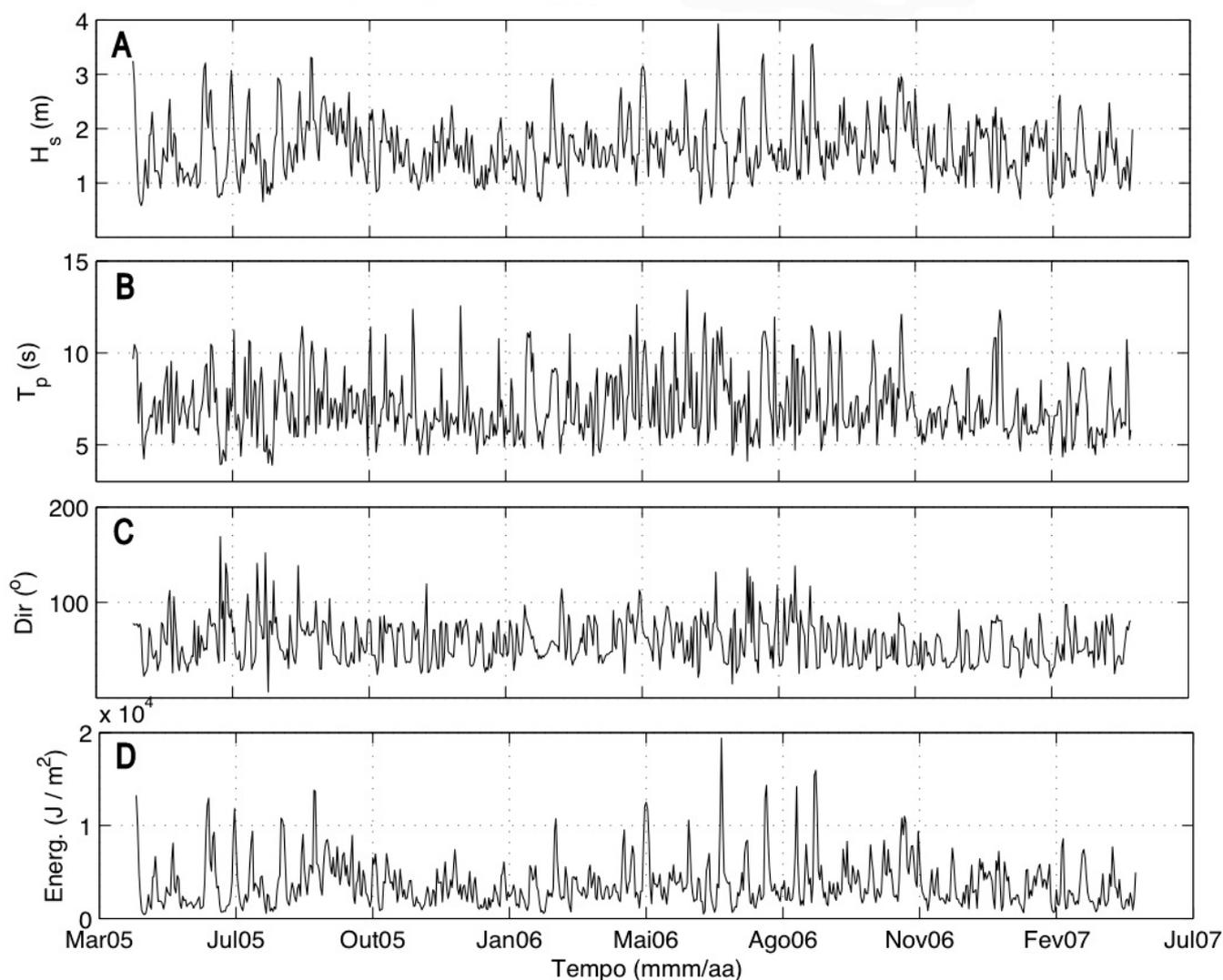


Figura 10 - Dados de ondas do modelo *Wave Watch III* com resolução global cujos dados foram selecionados para um ponto de grade próximo à cidade do Rio Grande: A) Altura significativa -  $H_s$ ; B) período de pico -  $T_p$ ; C) direção de incidência; D) energia.

para o B3 entre maio e novembro de 2006, correspondem a maior energia de onda encontrada para o período (Fig. 9i).

Por fim, a componente restante é a chamada componente semanal (Figs. 8e, 9e e 9j). Essa componente é a que apresenta maior domínio na variabilidade dos dados como se pode averiguar na dispersão dos dados (Figs. 8e, 9e e 9j) bem como na amplitude da variação dos mesmos.

Como já mencionado ao longo do texto, a variação da posição dos bancos nas diversas componentes está relacionada às variações associadas ao clima de ondas, em um tipo de relação causa e efeito. Nesse contexto, para melhor compreensão da resposta da alta frequência da posição dos bancos, representada pela componente semanal, em relação às rápidas mudanças nas ondas incidentes, uma análise de correlação cruzada foi realizada (Fig. 11). Devido à falta de um ondógrafo próximo à costa nesse ponto do litoral brasileiro, a análise de

correlação cruzada foi efetuada com dados de ondas do WWIII apresentados (Fig. 10).

Através da figura 11 foi possível observar que tudo que está acima do intervalo de confiança, identificado por uma linha tracejada na figura, apresenta uma correlação direta e significativa. Correlações cujo passo de tempo é negativo, indicaram que foi necessário ocorrer primeiro uma variação na altura das ondas para só depois do passo especificado o banco reagir a essa variação.

Dentre os três bancos, o B3 foi o que apresentou maior número de picos onde a correlação entre a variação de sua posição e a variação na altura das ondas foi significativa (Fig. 11c). A correlação para esse banco demonstrou-se significativa em passos de -1, 0, 3, 17, 22 e 26 dias. O pico de correlação positiva no passo -1 indicou que ocorre primeiro uma mudança em  $H_s$  antes que ocorra uma mudança na posição desse banco. Essa correlação pode ser reflexo da impossibilidade de esti-

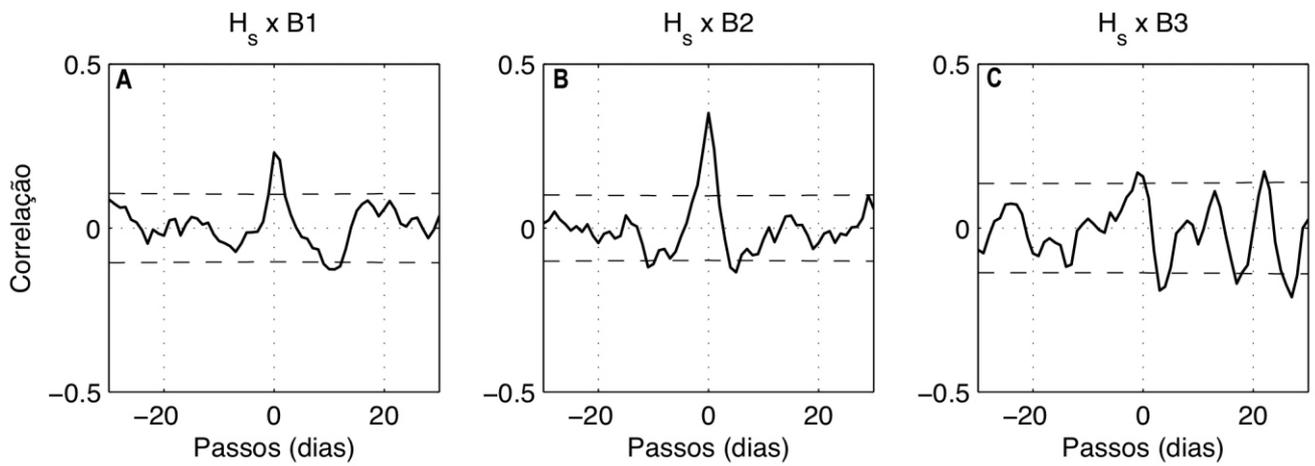


Figura 11 - Correlação cruzada entre a componente semanal de cada banco e a altura significativa média diária das ondas ( $H_s$ ) estimada pelo modelo global *Wave Watch III* e disponível pelo NCEP/NOAA: A)  $H_s \times B1$ ; B)  $H_s \times B2$ ; C)  $H_s \times B3$ . A linha tracejada representa o intervalo de 95% de confiança.

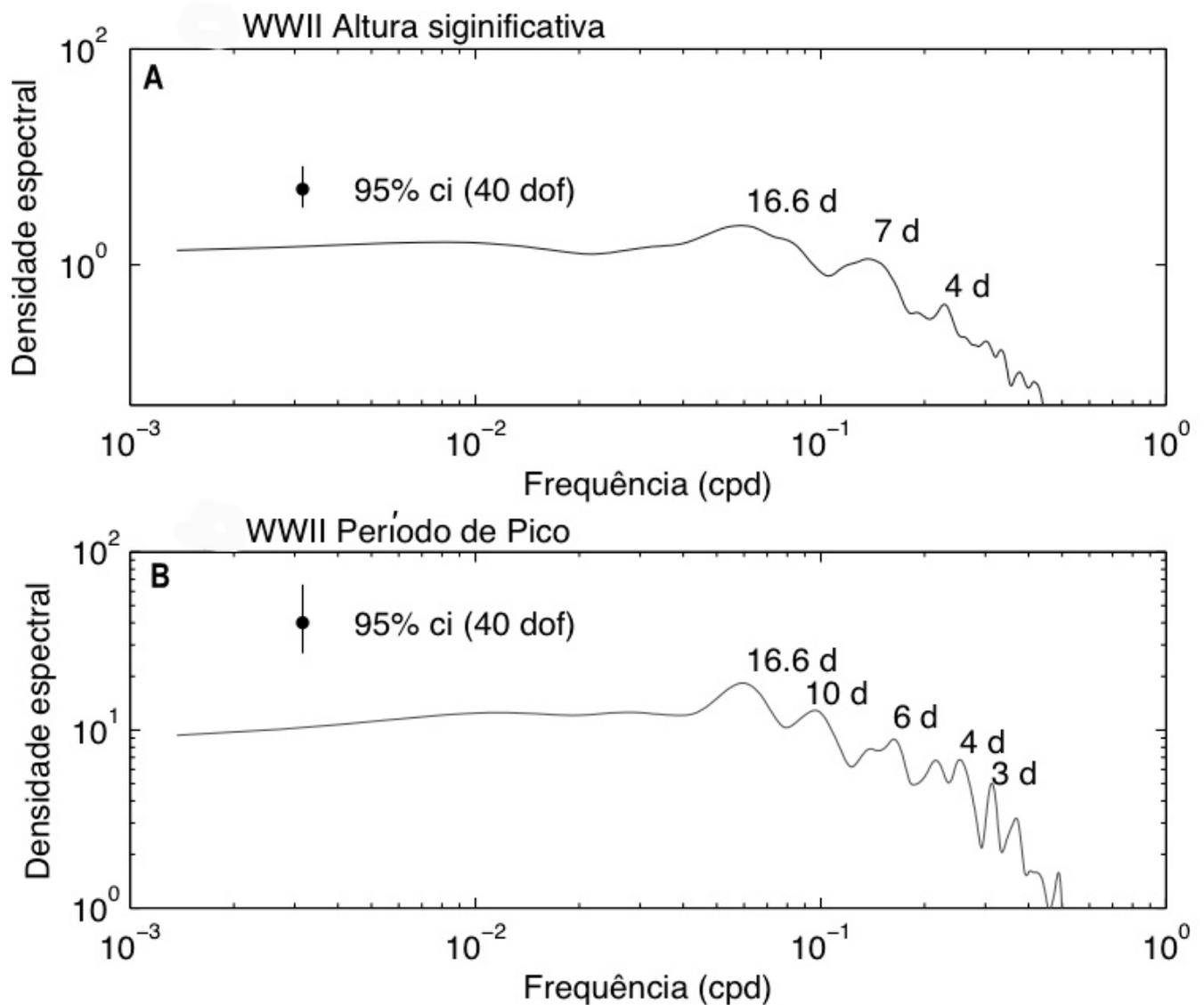


Figura 12 - Espectro da média diária dos dados do modelo WWIII. A) espectro da altura significativa de onda; B) espectro do período de pico. Os espectros foram calculados utilizando 40 graus de liberdade.

mativa da posição do B3 em situações de menor altura de onda, onde as mesmas não possuem altura suficiente para apresentar dissipação sobre este banco impossibilitando a sua identificação por meio das imagens, ou mesmo uma demora na resposta desse banco frente as variações de Hs.

Já o B2 apresentou valores significativos em passos de -10, 0, 4, 5 e 28 dias (Fig. 11b). Por fim, o B1 apresentou valores significativos em intervalos de 0, 10, 11 e 12 dias (Fig. 11a). Assim como nos resultados encontrados por Lippmann & Holman (1990), a correlação positiva significativa aqui encontrada utilizando um passo de 0 dias indicou que o movimento médio dos bancos em direção a costa ou se afastando da mesma, ocorreu na mesma escala que a diminuição ou aumento de Hs, respectivamente.

A figura 12 traz o espectro calculado para os dados de onda do WWIII, Hs e Tp, onde é possível a identificação de picos com período de oscilação semelhante aos encontrados na análise da correlação cruzada. Um fato interessante que chama a atenção é que certos picos considerados não significativos no espectro de Hs (Fig. 12a) apresentaram uma boa correlação com a posição da componente semanal dos bancos dentre os quais alguns são considerados significativos no espectro de Tp (Fig. 12b).

Acredita-se que a ocorrência de certos picos no espectro não significativos possa ser reflexo de algumas peculiaridades dos dados de Hs do modelo, como por exemplo, o fato dos mesmos serem para água profunda e não representarem as ondas que realmente incidem sobre a praia, que poderiam vir a mostrar maior significância na energia do espectro. Como mencionado anteriormente, alguns dos picos de correlação apresentaram a mesma ciclicidade encontrada em alguns picos do período de onda, esses, por sua vez, podem ser melhores indicadores da chegada de uma nova ondulação cuja energia não estaria bem representada no espectro da altura causando uma alteração da posição dos bancos.

Picos encontrados na análise espectral e na análise de correlação cruzada sugerem períodos de oscilações relacionados à passagem de sistema frontais e ciclones extra-tropicais, conforme já demonstrado por estudos locais que visaram a compreensão e caracterização de fenômenos oceanográficos tais como a circulação da Lagoa dos Patos (Möller *et al.*, 2001); a descarga de água doce também da Lagoa dos Patos (Marques *et al.*, 2009);

e mais recentemente as correntes da plataforma continental interna (Costa & Möller, 2009).

Möller *et al.* (2001) encontraram inversões na direção dos ventos relacionadas à passagem de frentes em um intervalo de 3 a 17 dias. Em uma análise mais aprofundada sobre as variações climáticas da cidade do Rio Grande, Reboita *et al.* (2006) encontraram períodos de oscilação variados entre 4 e 12,3 dias para os sistemas frontais e a intrusão de massas de ar frio, de acordo com a variável climatológica a ser analisada. Ambos os trabalhos corroboram os resultados aqui encontrados, ressaltando mais uma vez a relação causa e efeito entre as forçantes, ondas associadas à passagem de sistemas frontais e a posição dos bancos.

Conforme pode ser observado, a série temporal de dois anos aqui analisada apresentou a componente semanal como dominante da variabilidade dos dados dos três bancos, visto a amplitude de dispersão dos dados da mesma. Tal constatação pôde ser comprovada através da razão entre a variância de cada componente e a variância total dos dados conforme ilustra a tabela 1.

Pela tabela é possível observar que as componentes selecionadas explicaram 67,3 % da variância do B1, 54,1 % do B2 e 57,7 % do B3. Depois da componente semanal, a componente que apresentou maior porcentagem na variação da posição dos bancos foi a mensal, exceto para o terceiro banco cuja segunda maior componente foi a sazonal.

Os resultados aqui encontrados diferem daqueles encontrados na literatura para praias que apresentam os ciclos dos bancos. Normalmente nessas praias, a componente semanal é uma das componentes cuja variância representa apenas uma pequena parcela de contribuição. Segundo autores como Plant *et al.* (1999) e Van Enckevort & Ruessink (2003) a variação interanual atribuída aos ciclos dos bancos pode ser responsável por 80 a 91 % da variabilidade dos dados. Devido à extensão da série aqui utilizada, bem como a falta de recorrência do ciclo dos bancos, não é possível ainda afirmar se a componente interanual domina a variação da posição dos bancos da praia do Cassino.

Outra conclusão referente aos dados da tabela 1, especialmente em relação à maior variância associada a componente semanal, é o fato de que os bancos arenosos da praia do Cassino apresentaram uma variabilidade que pode estar relacionada aos perfis normais e de tempestade (John-

son, 1949) ao invés dos perfis de verão e inverno (Shepard, 1950).

Um aspecto ainda não discutido é o efeito dos depósitos lamíticos, existentes na antepraia do Cassino, sobre o clima de ondas e conseqüentemente sobre a variabilidade dos bancos. A presença desses depósitos já foi comprovada por diversos estudos como por exemplo o de Calliari *et al.* (2009). Esses depósitos, como já sabido, causam a redução da energia das ondas diminuindo assim a altura das mesmas. Através de uma série de medições de dados *in situ*, Vinzon *et al.* (2008) comprovaram a atenuação de até 40% da energia das ondas antes da chegada das mesmas à zona de surfe.

Calliari *et al.* (2009) demonstraram através de testemunhos a existência de camadas de lama alternadas por camadas de areia. De acordo com os autores, esta intercalação é indicativa da alteração do estado da lama, onde a deposição de areia sobre a lama só é possível quando a lama encontra-se em estado sólido. Essa observação somada ao fato de que a lama chega a antepraia de forma fluída permite concluir que o estado da mesma pode variar ao longo do tempo. Dessa forma, a variação do estado da lama levaria a alteração de sua viscosidade e densidade, parâmetros intimamente relacionados à atenuação das ondas, ocasionando uma variação da atenuação ao longo tempo.

Assim, a alteração do estado da lama e a conseqüente variação da atenuação causariam alterações na altura das ondas ao longo do tempo, estas por sua vez, induziriam uma menor variação da posição dos bancos. Nesse contexto, dado a inexistência de séries temporais contínuas das propriedades da lama bem como das ondas, se torna praticamente impossível a determinação do efeito da atenuação das ondas sobre o comportamento dos bancos arenosos. Sem as séries temporais antes referidas, acredita-se que tal efeito só possa ser percebido quando da ocorrência dos depósitos de lama no campo de visão das câmeras, possibilitando assim o monitoramento remoto dos efeitos da lama sob atenuação das ondas, conforme demonstrado por Pereira *et al.* (2011).

## 5. Conclusões

Através das imagens vídeo do sistema Argus da praia do Cassino, foi possível registrar o início de um novo ciclo dos bancos arenosos da zona de arrebentação marcado pelo surgimento de

um novo banco próximo a praia, oriundo da divisão do segundo banco em dois e sucessiva migração e desaparecimento do banco mais externo rumo ao oceano. Tal criação de um novo banco pela divisão de um outro encontra-se sem precedentes na literatura internacional.

A migração do banco mais antigo e mais afastado da costa ocorre acompanhada do banco intermediário, segundo banco. Já o banco interno, primeiro banco, migra no sentido oposto aos demais. Esse padrão de migração é quebrado quando da origem do novo banco, invertendo-se os padrões previamente citados.

Nenhuma anomalia significativa foi observada nos dados de ondas coletados durante o experimento Cassino (Holland *et al.*, 2009) que pudesse ser atribuída como causa principal ao início do ciclo. Acredita-se portanto que o início da migração em direção ao oceano possa ter sua origem antes do início da aquisição das imagens.

Através da análise de uma série temporal de dois anos de imagens foi possível observar que a praia do Cassino predominantemente apresenta três bancos, podendo exibir até quatro, como parte do ciclo dos bancos. Utilizando um filtro passa baixa, a série de dois anos da posição média diária dos bancos foi filtrada tendo as suas componentes temporais sazonal, subsazonal, mensal e semanal, separadas.

Os resultados da análise indicaram o predomínio da componente semanal sobre as demais de forma que essa componente pode explicar 39, 29 e 45% da variância total dos dados do primeiro, segundo e terceiro banco, respectivamente. Pela análise de correlação cruzada entre dados de ondas do modelo WWIII global para a cidade do Rio Grande e a componente semanal dos bancos, foram observadas correlações significativas condizentes com a passagem de sistemas frontais na região. No entanto, houve uma certa discrepância dos picos de correlação encontrados entre os bancos. Ainda no que se refere às componentes, apenas o terceiro banco apresentou a componente sazonal bem evidente.

A série de dados de dois anos aqui analisada não apresentou nenhum claro indício da influência dos depósitos lamíticos existentes na antepraia da praia do Cassino sobre o comportamento dos bancos. Para melhor compreensão da contribuição desses depósitos sobre a dinâmica dos bancos, se faz necessário a existência de séries temporais não só das características reológicas do

depósito, mas também de dados de onda. Em vista da inexistência de tais dados para a região, espera-se discutir o efeito da lama sobre os bancos quando da ocorrência da mesma na zona de surfe sob o campo de visão das câmeras.

**Agradecimentos** - Os autores gostariam de demonstrar a sua gratidão a CAPES pelo suporte financeiro através de bolsas de doutorado e mestrado, respectivamente. Gostaríamos também de agradecer a Nathaniel Plant (USGS) pelo auxílio na implementação do SLIM bem como a William Marques pela ajuda na operação do filtro passa baixa aqui utilizado. A instalação do sistema Argus da praia do Cassino só se tornou possível frente ao apoio do *Office of Naval Research* (ONR-Award Number: N00173-05-1-G26, N00173-04-1-G901, N00014-04-1-0274 e N00014-06-1-0977). Por fim, gostaríamos de agradecer ao grupo do NRLSSC - EUA (Todd Holland, Tim Kooney e Steven Spansel) e do CIL (Rob Holman e John Stanley) pelo apoio constante para a manutenção do sistema Argus bem como no manejo e tratamento dos dados.

## Referências

- Aagaard, T., Nielsen, J., & Greenwood, B. 1998. Suspended sediment transport and nearshore bar formation on a shallow intermediate-state beach. *Marine Geology*, 148: 203–225.
- Birkemeier, W. 1984. Time scales of nearshore profile change. In: PROCEEDINGS OF THE 19TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON COASTAL ENGINEERING, New York, NY, US. Am. Soc. Of Civ. Eng., p. 1507-1521.
- Calliari, L. & Klein, A. 1993. Características morfodinâmicas e sedimentológicas das praias oceânicas entre Rio Grande e Chuí, RS. *Pesquisas em Geociências*, 20(1): 4856.
- Calliari, L., Tozzi, H., & Klein, A. 1998. Beach morphology and coastline erosion associated with storm surges in southern Brazil - Rio Grande to Chuí, RS. In: LAND AND OCEAN INTERACTION IN COASTAL ZONE (LOICZ) MEETING, 1998, São Paulo, SP, Brazil, p. 231–247.
- Calliari, L., Winterwerp, J., Fernandes, E., Vinzon, S., Cuchiara, D., Holland, K., & Sperle, M. 2009. Fine grain sediment transport and deposition in the Patos lagoon - Cassino beach sedimentary system. *Continental Shelf Research*, 29(3): 515–529.
- Carter, R. 1988. *Coastal Environments*. Academic Press, London, UK. 617 p.
- Coco, G. & Murray, A. 2007. Patterns in the sand: From forcing templates to self-organization. *Geomorphology*, 91(3-4): 271–290.
- Costa, R. & Möller, O. 2009. Estudo sobre a variabilidade sazonal das correntes costeiras da plataforma interna ao largo de Rio Grande -RS. In: VIII SIMPÓSIO SOBRE ONDAS, MARÉS, ENGENHARIA OCEÂNICA E OCEANOGRAFIA POR SATÉLITE OMAR-SAT, 2009, Arraial do Cabo, RJ, Brasil, p. 1-4.
- Elgar, S., Gallagher, E., & Guza, R. 2001. Nearshore sand-bar migration. *Journal of Geophysical Research*, 106: 11623–11627.
- Figueiredo, S. & Calliari, L. 2006. Sedimentologia e suas implicações na morfodinâmica das praias adjacentes as desembocaduras da linha de costa do Rio Grande do Sul. *Gravel*, 4: 73–87.
- Gallagher, E., Elgar, S., & Guza, R. 1998. Observations of sand bar evolution on a natural beach. *Journal of Geophysical Research*, 103: 3203–3215.
- Grunnet, N. & Hoekstra, P. 2004. Alongshore variability of the multiple barred coast of Terschelling, The Netherlands. *Marine Geology*, 203(1-2): 23–41.
- Guedes, R. 2008. *Utilização de métodos diretos e vídeo-imagens ARGUS na caracterização morfodinâmica da zona de arrebenção da praia do Cassino, RS*. Rio Grande, 98p. Dissertação de mestrado em oceanografia física, química e geológica, Universidade Federal do Rio Grande.
- Guedes, R., Calliari, L., & Pereira, P. 2009. Morfodinâmica da praia e zona de arrebenção do Cassino através de técnicas de vídeo imageamento e perfis de praia. *Pesquisas em Geociências*, 36(2): 165-180.
- Holland, K., Holman, R., Lippmann, T., Stanley, J., & Plant, N. 1997. Practical use of video imagery in nearshore oceanographic field studies. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 22(1): 81–92.
- Holland, K., Vinzon, S., & Calliari, L. J. 2009. A field study of coastal dynamics on a muddy coast offshore of Cassino beach, Brazil. *Continental Shelf Research*, 29(3): 503–514.
- Holman, R. & Sallenger, A. 1993. Sand bar generation: a discussion of the Duck experiment series. *Journal of Coastal Research*, SI(15): 76–92.
- Holman, R. & Stanley, J. 2007. The history and technical capabilities of Argus. *Coastal Engineering*, 54(6-7): 477–491.
- Johnson, J. 1949. Scale effects in hydraulic models involving wave motion. *Transactions of Geophysical Union*, 30: 517–525.
- Larson, M. & Kraus, N. 1989. *SBEACH: Numerical Model For Simulating Storm Induced Beach Change*. Report 2, Numerical formulation and model tests. Technical Report CERC-89-9, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.
- Lippmann, T. & Holman, R. 1989. Quantification of sand bar morphology: a video technique based on wave dissipation. *Journal of Geophysical Research*, 94(C1): 995-1011.
- Lippmann, T. & Holman, R. 1990. The spatial and temporal variability of sand bar morphology. *Journal of Geophysical Research*, 95(C7): 11.575-11.590.
- Lippmann, T., Holman, R., & Hathaway, K. 1993. Episodic, non-stationary behavior of a two sand bar system at Duck, NC, USA. *Journal of Coastal Research*, SI(15): 49-75.
- Madsen, A. & Plant, N. 2001. Intertidal beach slope predictions compared to field data. *Marine Geology*, 173: 121–139.

- Marques, W., Fernandes, E., Monteiro, I., & Möller, O. 2009. Numerical modeling of the Patos lagoon coastal plume, Brazil. *Continental Shelf Research*, 29(3): 556-571.
- Möller, O., Castaing, P., Salomon, J., & Lazure, P. 2001. The influence of local and non-local forcing effects on the subtidal circulation of Patos lagoon. *Estuaries*, 24(2): 297-311.
- NCEP/NOAA. National Centers for Environmental Prediction. 2008. ftp://polar.ncep.noaa.gov/pub/history/waves. Acesso em: 20 de novembro de 2008.
- Ojeda, E., Ruessink, B., & Guillen, J. 2008. Morphodynamic response of a two-barred beach to a shoreface nourishment. *Coastal Engineering*, 55:1185-1196.
- Pereira, P. & Calliari, L. 2005. Variação morfodinâmica diária da praia do Cassino, RS, durante os verões de 2002/2003 no setor do terminal turístico. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, 9(1): 7-11.
- Pereira, P., Calliari, L., Holman, R., Holland, K., Guedes, R., Amorin, C., & Cavalcanti, P. 2011. Video and field observations of wave attenuation in a muddy surf zone. *Marine Geology*, 279: 210-221.
- Plant, N. & Holman, R. 1997. Intertidal beach profile estimation using video images. *Marine Geology*, 140: 1-24.
- Plant, N., Holman, R., Freilich, M., & Birkemeier, W. 1999. A simple model for interannual sandbar behavior. *Journal of Geophysical Research*, 104: 15755-15776.
- Pruszek, Z., Rozniski, G., & Zeidler, R. 1997. Statistical properties of multiple bars. *Coastal Engineering*, 31(1-4): 263-280.
- Quartel, S., Ruessink, B., & Kroon, A. 2007. Daily to seasonal cross-shore behaviour of quasi-persistent intertidal beach morphology. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32(1): 1293-1307.
- Reboita, M., Krusche, N., & Piccoli, H. 2006. Climate variability in Rio Grande, RS, Brazil: a quantitative analysis of contributions due to atmospheric systems. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 21(2): 256-270.
- Ruessink, B. & Kroon, A. 1994. The behavior of a multiple bar system in the nearshore zone of Terschelling, The Netherlands - 1965-1993. *Marine Geology*, 121(3-4): 187-197.
- Ruessink, B., Pape, L., & Turner, I. 2009. Daily to interannual cross-shore sandbar migration: observations from a multiple sandbar system. *Continental Shelf Research*, 29(14): 1663-1677.
- Ruessink, B. & Terwindt, J. 2000. The behaviour of nearshore bars on the time scale of years: a conceptual model. *Marine Geology*, 163: 289-302.
- Ruessink, B., Wijnberg, K., Holman, R., Kuriyama, Y., & Van Enckevort, I. 2003. Intersite comparison of interannual nearshore bar behavior. *Journal of Geophysical Research*, 108(C8) 3249-3260.
- Shand, R. & Bailey, D. 1999. A review of net offshore bar migration with photographic illustrations from Wanganui, New Zealand. *Journal of Coastal Research*, 15:365-378.
- Shepard, F. 1950. *Longshore bars and longshore troughs*. U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Technical Memo. No.48.
- Short, A. 1975. Multiple offshore bars and standing waves. *Journal of Geophysical Research*, 80(27): 3838-3840.
- Strauch, J. 1998. Um ano de monitoramento de ondas em Rio Grande. In: XI NATIONAL WEEK OF OCEANOGRAPHY: OCEANOGRAPHY AND THEIR INTERFACES, 1998, Rio Grande, RS-Brazil. Federal University of Rio Grande, FURG, p. 1-3.
- Terra, S. 2003. *Construção de um trenó marítimo (sea sled) para o levantamento topográfico do perfil do fundo do mar na zona de surfe em Rio Grande- RS*. Rio Grande. 120p. Dissertação de Mestrado em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio Grande.
- Thompson, R. O. 1983. Low-Pass Filters to Suppress Inertial and Tidal Frequencies. *Journal of Physical Oceanography*, 13: 1077-1083.
- Tozzi, H. & Calliari, L. 2000. Morfodinâmica da praia do Cassino, RS. *Pesquisas em Geociências*, 27: 29-42.
- Van Enckevort, I. & Ruessink, B. 2003. Video observations of nearshore bar behaviour. Part 1: alongshore uniform variability. *Continental Shelf Research*, 23(5): 501-512.
- Vinson, S., Meirelles, S., & Leão, T. 2008. Wave generated lutoclines offshore of Cassino beach, Brazil. In: PHYSICS OF ESTUARIES AND COASTAL SEAS, PECS, 2008, Liverpool, UK, p. 369-372
- Wijnberg, K. & Kroon, A. 2002. Barred beaches. *Geomorphology*, 48: 103-120.
- Wright, L. & Short, A. 1984. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*, 56: 93-118.

