

## RECONSTITUIÇÃO DO CLIMA DE ONDAS NO SUL-SUDESTE BRASILEIRO ENTRE 1997 E 2005

Jose Henrique Gomes de Mattos Alves<sup>1</sup>, Eric Oliveira Ribeiro<sup>2</sup>, Guisela Santiago Grossmann Matheson<sup>3</sup>,  
José Antonio Moreira Lima<sup>4</sup> e Carlos Eduardo Parente Ribeiro<sup>5</sup>

Recebido em 30 outubro, 2008 / Aceito em 14 setembro, 2009  
Received on October 30, 2008 / Accepted on September 14, 2009

**ABSTRACT.** A criterious hindcasting study of the South Atlantic Ocean wave field was made using the model WAVEWATCH III including tests to evaluate which numerical grid would provide the best configuration for the wind and other atmospheric forcing regarding the calibration of the respective fields. It was observed that the wind forcing values were slightly underestimated for speeds below 7.5 m/s and overestimated for speeds above this value for specific sites at Campos and Santos Basins (Brazil). Thus, it was proposed a small correction to compensate any trends in the wind forcing values for the region. The evaluation of resultant wave fields was made using extreme measured sea states at PETROBRAS platform P-25, northern Campos Basin. The comparison of measured and modeled values shows that the adjusted atmospheric forcing provided good results for both significant wave heights (Hs) as well as spectral peak periods (Tp). Although, it was observed that the modeled sea states tend to slightly underestimate the local sea component at the initial storm buildup when a second spectral peak is present. It was also observed that the used numerical grid tends not to capture very compact atmospheric systems due to poor resolution of such small scale features. On a general view, the results reproduce the wave field characteristics of the western South Atlantic Ocean.

**Keywords:** WAVEWATCH III, waves, extreme sea states, measured waves, modeled waves.

**RESUMO.** Uma reconstituição dos campos de onda pretéritos no oceano Atlântico Sul foi realizada pelo modelo de ondas WAVEWATCH III onde testes foram feitos para determinar as configurações das grades numéricas mais adequadas para o estudo e para a verificação e calibração da qualidade dos ventos e forçantes selecionadas para a elaboração do *hindcast* dos campos de onda. Em relação aos campos de vento do modelo observou-se valores subestimados abaixo de 7,5 m/s e superestimados acima de 7,5 m/s, quando comparados aos dados de vento medidos das Bacias de Campos e Santos. Portanto foi realizada uma correção nas forçantes de vento para essa região. A avaliação da reconstituição dos campos de onda em eventos severos fez-se a luz de medições do radar de ondas MIROS na plataforma P-25 da PETROBRAS, na Bacia de Campos. A comparação dos dados mostrou que as simulações realizadas com o modelo usando forçantes atmosféricas ajustadas, em geral, reproduzem os estados de mar mais severos medidos de ondas, tanto em termos de altura significativa de onda (Hs), quanto de período de pico (Tp). As simulações, no entanto, podem subestimar detalhes como a intensidade do mar local nos primeiros momentos da tempestade, no caso de estado de mar bimodal e ignorar a presença de campos de onda gerados em sistemas atmosféricos mais compactos, devido à baixa resolução das forçantes atmosféricas empregadas. De uma forma geral, os resultados foram bons e o modelo caracteriza o clima de ondas desta região oeste do oceano Atlântico Sul.

**Palavras-chave:** WAVEWATCH III, ondas, estado de mar severo, dados medidos de ondas, dados modelados de ondas.

---

<sup>1</sup>Senior Physical Oceanographer, RPS Metocean, Perth, Australia, Phone: +61(8)9387-7955; Fax: +61(8)9387-6686

– Email: jose-henrique.alves@metoceanengineers.com

<sup>2</sup>Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello, CENPES, PETROBRAS, Av. Horácio de Macedo, 950, Cidade Universitária, 21941-915 Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tel.: (21) 3865-4780; Fax: 3865-3764 – E-mail: eric.oliveira@petrobras.com.br

<sup>3</sup>Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello, CENPES, PETROBRAS, Av. Horácio de Macedo, 950, Cidade Universitária, 21941-915 Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tel.: (21) 3865-3723; Fax: (21) 3865-3764 – E-mail: guisela@petrobras.com.br

<sup>4</sup>Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello, CENPES, PETROBRAS, Av. Horácio de Macedo, 950, Cidade Universitária, 21941-915 Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tel.: (21) 3865-6284; Fax: (21) 3865-3764 – E-mail: jamlima@petrobras.com.br

<sup>5</sup>Engenharia Oceânica, COPPE, UFRJ, Centro de Tecnologia, Bloco C, sala 203 Cidade Universitária, Ilha do Fundão, 21945-970 Rio de Janeiro, RJ, Brasil. Tel.: (21) 2562-8730; Fax: (21) 2562-8731 – E-mail: parente@peno.coppe.ufrj.br

## INTRODUÇÃO

O presente trabalho apresenta a reconstituição do clima de ondas no sul-sudeste brasileiro no período de janeiro de 1997 a dezembro de 2005, chamado de "Reconstituição dos Campos de Onda Pretéritos no oceano Atlântico Sul (COPAS)". O título na verdade reflete melhor a natureza do trabalho realizado, que não trata da elaboração de uma climatologia de ondas em si, mas sim da elaboração de um banco de dados com campos de onda pretéritos reconstituídos através de modelagem numérica.

A tarefa de produzir um banco de dados contendo campos de onda pretéritos foi executada através da geração de campos pretéritos (*hindcast*) para a bacia oeste do oceano Atlântico Sul utilizando o modelo WAVEWATCH III. Inicialmente, uma série extensa de testes numéricos foi realizada para determinar a configuração das grades numéricas e das opções de compilação do modelo, de forma a otimizar a performance dos sistemas de computação utilizados durante a execução do trabalho.

A geração do banco de dados de *hindcast* dos campos de onda foi realizada através de um sistema de modelos aninhados composto de uma grade global, com resolução de  $1^\circ \times 1,25^\circ$ , e uma grade aninhada regional cobrindo o sudoeste do oceano Atlântico Sul, com resolução de  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ . O sistema de modelos aninhados foi alimentado com forçantes atmosféricas (ventos à superfície, gradientes de temperatura ar-mar e cobertura de gelo) obtidas de análises do modelo atmosférico global do *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP/NOAA), dos EUA.

Uma das propriedades mais interessantes ao se utilizar modelos de simulação de ondas como WAVEWATCH III, SWAN (Booij et al., 1999), WAM (Komen et al., 1994), dentre outros, é a capacidade de gerar saídas pontuais contendo o espectro bidimensional completo em pontos pré-selecionados das grades numéricas. O poder desta opção é imenso em termos de propiciar meios para uma análise mais aprofundada e detalhada das propriedades dos campos de onda em pontos de interesse. No presente trabalho, conforme detalhado abaixo, foram definidos 256 pontos, sendo alguns poucos destes cobrindo plataformas de exploração ou bóias onde foram realizadas medições ambientais.

O presente estudo segue a linha de outros trabalhos publicados anteriormente, onde modelos numéricos são utilizados para melhor entendimento do clima de ondas. Entre eles, merecem citação Sterl et al. (1998); Candella et al. (1999); Rocha et al. (2004); Alves (2006); Alves et al. (2008); e Ribeiro et al. (2009). Sterl et al. (1998) avaliam uma reconstituição do

clima de ondas global feita utilizando o modelo de ondas WAM e campos de vento pretéritos fornecidos na forma de reanálise pelo *European Centre for Medium-Range Weather Forecasts* (ECMWF). Candella et al. (1999) reconstituem dois eventos associados a estados de mar severos no oceano Atlântico Sul, utilizando o modelo WAM. Similarmente, Rocha et al. (2004) avaliam simulações de estados de mar severos gerados por seis ciclones extratropicais no oceano Atlântico Sul, utilizando o modelo WAVEWATCH III. Alves (2006) apresenta um estudo sobre a influência de *swell* no clima de ondas regional em várias bacias oceânicas, utilizando o modelo WAVEWATCH III. Finalmente, Alves et al. (2008) e Ribeiro et al. (2009) apresentam avaliações de simulações de onda feitas com o modelo WAVEWATCH III, para o oceano Atlântico Sul, também utilizadas no presente estudo.

As seções seguintes a esta sucinta introdução descrevem os processos para aquisição e produção das forçantes meteorológicas utilizadas, a metodologia empregada para verificação e calibração dos ventos à superfície e uma avaliação da sensibilidade na escolha de grades de mais alta resolução para a região de estudos. Depois são apresentados os resultados de testes realizados no intuito de determinar as configurações das grades numéricas mais adequadas para o estudo, assim como os resultados de testes numéricos feitos para verificação e calibração da qualidade dos ventos e forçantes selecionadas para a elaboração do *hindcast* dos campos de onda.

Nas seções finais deste trabalho são apresentados os resultados de dois estudos. Um trata da validação dos resultados das simulações de campos de onda pretéritos, tomando como referência medições feitas com radar de ondas MIROS nas plataformas PETROBRAS P-18 e P-25 e pela bóia *Waverider* mantida pela PETROBRAS na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O outro estudo apresenta uma breve avaliação do desempenho do *hindcast* do campo de ondas em eventos pré-selecionados através de medições feitas na plataforma P-25, em que os valores de altura significativa registrados ultrapassam a marca de 5 m.

## AQUISIÇÃO E CALIBRAÇÃO DAS FORÇANTES METEOROLÓGICAS

Forçantes atmosféricas usadas no presente estudo foram obtidas a partir dos modelos atmosféricos que compõem o sistema de previsão global (GFS) da NOAA/NCEP, nos EUA. Tais modelos, chamados espectrais, simulam a circulação atmosférica utilizando funções harmônicas truncadas para representação de

variáveis no plano horizontal. A transposição dos campos de variáveis atmosféricas do espaço espectral para uma grade geográfica, como a utilizada em modelos de simulação de ondas como o WAVEWATCH III, requer uma transformação espectral que resulta em uma grade geográfica cuja resolução máxima depende do número de componentes espectrais utilizadas no modelo atmosférico, indicado pela letra T seguida pelo número de componentes. O processo é descrito em maiores detalhes em Washington & Parkinson (1986).

Tendo em vista tais propriedades, para garantir a utilização das forçantes de mais alta resolução disponíveis no modelo regional, os dados originais contendo análises do modelo GFS/NCEP foram complementados ou substituídos da seguinte forma:

- Entre 1997 e 1999, os dados de vento do modelo atmosférico MRF/NCEP ofereciam saídas de campo em grade espectral T126 (para análises e previsões de curto prazo), o que equivale a uma resolução máxima horizontal de  $1,1^\circ$ . No entanto, considerando propriedades da transformação entre o espaço espectral e o espaço geográfico, a resolução T126 oferece com segurança uma resolução de variáveis no espaço físico/geográfico da ordem de  $1,75^\circ$  (Jordan Alpert, NOAA, comunicação pessoal). Portanto, nesse período foram usadas forçantes meteorológicas com uma resolução da ordem de  $1,75^\circ$ ;
- Entre janeiro de 2000 e outubro de 2002, a resolução das análises e previsões de curto prazo do modelo atmosférico do NCEP, que então foi chamado de AVN, mudou de T126 para T170. A resolução aconselhada para obtenção de variáveis em grades geográficas passou, desta forma, para aproximadamente  $1,5^\circ$  (Jordan Alpert, comunicação pessoal). Conseqüentemente, nesse período foram usadas forçantes meteorológicas com uma resolução da ordem de  $1,5^\circ$ ;
- Em outubro de 2002 a resolução do modelo AVN mudou para T254. Com isso, a resolução aconselhada para obtenção de variáveis em grades geográficas passou para  $0,75^\circ$  (Jordan Alpert, comunicação pessoal), tendo sido esta resolução adotada para a realização do presente estudo;
- A mais recente atualização da resolução do modelo atmosférico, atualmente chamado de GFS (*Global Forecast System*) do NCEP ocorreu em maio de 2005. Com a nova resolução espectral em T384, a resolução aconselhada para obtenção de variáveis numa grade geográfica

mudou para  $0,5^\circ$ , aproximadamente. Dados usados no presente estudo a partir desta data, portanto, foram obtidos a uma resolução de  $0,5^\circ$ .

Em todos os casos acima, as forçantes atmosféricas foram interpoladas para as resoluções dos modelos de ondas: grades global ( $1,25^\circ \times 1^\circ$ ) e regional ( $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ).

### Correção dos ventos para a grade regional

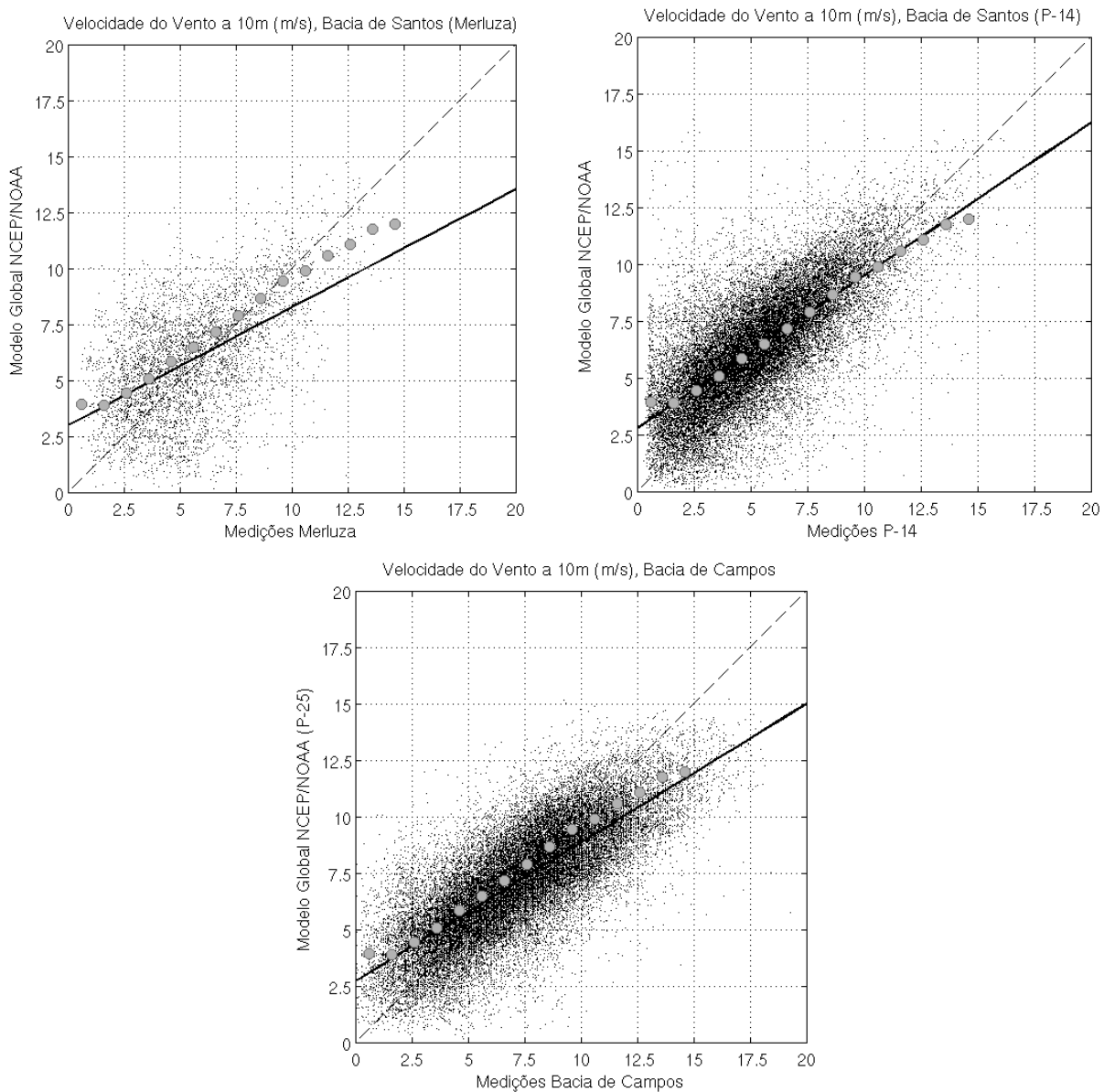
Simulações feitas com a grade global utilizaram ventos corrigidos considerando bóias disponíveis, sobretudo no hemisfério Norte, apesar de incluir dados esparsos no hemisfério Sul. Assume-se que os ajustes feitos nestes ventos para acomodar as necessidades do sistema de previsão de ondas operacional do NCEP/NOAA sejam os mais adequados para execução do modelo global.

Para a grade regional, no entanto, a disponibilidade de dados de vento coletados em plataformas de exploração de petróleo no oceano Atlântico Sul permitiu uma avaliação da qualidade dos ventos disponíveis. Permitiu ainda reajustar os ventos disponíveis considerando tais dados, de forma a minimizar possíveis erros associados à intensidade dos ventos obtidos das análises atmosféricas operacionais do NOAA/NCEP.

Considerando períodos em que os modelos do NCEP sofreram alterações de resolução, as avaliações e correções de ventos no Atlântico Sul foram realizadas considerando três períodos: (1) 1997-1999 (2) 2000-2002 e (3) 2003-2005. Estas foram baseadas em medições feitas na plataforma P-25 na Baía de Campos (períodos 1, 2 e 3) e nas plataformas P-14 (períodos 1, 2 e 3) e Merluza na Baía de Santos (período 2).

Ventos da Baía de Campos consistiram de uma composição de dados medidos por diversos métodos, conforme descrito em PETROBRAS (2002). Medições feitas por navios ou pela INFRAERO através de leitura de instrumentos por observadores foram eliminadas da composição de dados por apresentarem-se em classes discretas de vento, não consistentes com a forma contínua dos demais dados. Desta forma obteve-se uma base de dados mais consistente para a tarefa de avaliação e correção dos ventos modelados.

A Figura 1 mostra os diagramas de espalhamento comparando dados medidos com dados de vento usados no modelo de ondas, para pontos nas Bacias de Santos (Merluza e P-14) e Campos (P-25). Considerando os resultados obtidos, vê-se uma clara tendência de os ventos modelados superestimarem os valores relativos a ventos medidos para velocidades inferiores a  $7,5$  m/s. Acima deste valor, a tendência é inversa: ventos modelados subestimam os valores medidos. Em geral, os três



**Figura 1** – Diagramas de espalhamento comparando dados medidos com dados de vento usados no modelo de ondas. Merluza (esquerda), P-14 (direita) e P-25 (inferior). São mostradas as linhas ilustrando: regressão linear (linha contínua), concordância perfeita (linha pontilhada) e as médias para velocidades em classes de vento (círculos cinza).

gráficos mostram tendências semelhantes. Levando-se em conta tais tendências consistentes e a maior base de dados coletados na Bacia de Campos (ponto P-25), utilizaram-se como base para correções as análises feitas no ponto P-25.

Seguindo a abordagem de Tolman (1998), uma correção para o viés dos ventos foi implementada para o modelo regional da seguinte forma. Primeiro, foi calculado o viés (bias ou tendência) médio em classes de vento a intervalos de 1 m/s, iniciando-se

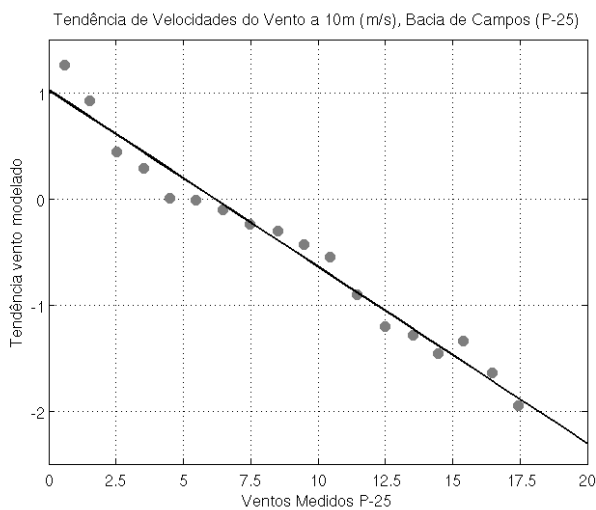
na classe 3 m/s (abaixo deste valor o espalhamento dos dados medidos mostrou-se inadequado para efetuar uma regressão representativa dos campos de vento mais efetivos para a geração de ondas). Seguindo Tolman (1998), os valores médios de cada classe foram corrigidos considerando erros observacionais.

A regressão linear tomando valores médios corrigidos de viés para cada classe de vento é mostrada na Figura 2. Considerando intervalos de confiança no nível de 95%, pode-se concluir que a

regressão linear representa a tendência de forma estatisticamente satisfatória, fornecendo a seguinte relação para correção dos ventos modelados:

$$U_{corr} = 1,17U - 1,05$$

Para melhor implementação da correção do vento, foram realizados testes de sensibilidade visando estabelecer se a correção deveria ser aplicada em todo o conjunto de velocidades ou somente em faixas específicas de vento apresentando erros maiores (p.ex., ventos acima de 7,5 m/s ou 10 m/s). Foi ainda realizado um outro teste visando determinar o impacto para o *hindcast* no Atlântico Sul da utilização de correções na velocidade do vento considerando instabilidade atmosférica (Tolman & Chalikov, 1996; Tolman, 2002).



**Figura 2** – Regressão linear tomando valores médios de viés modelo-medição para cada classe de vento. Dados medidos na plataforma P-25.

## ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DAS EXTENSÕES DA GRADE

Um experimento foi realizado para verificar a sensibilidade do modelo regional à localização do limite sul da grade: a hipótese foi de que a localização selecionada do limite sul (40°S) poderia interromper a pista de tempestades se propagando ao largo do litoral da Argentina, prejudicando o desenvolvimento de ondas associadas a estes sistemas.

O teste de sensibilidade consistiu em rodar durante o ano de 2001, quando foram registrados diversos eventos severos associados à propagação de tempestades no sul do Atlântico Sul, uma versão da grade regional com limite estabelecido em 45°S de latitude. Os ventos usados não foram corrigidos (i.e., consistiram nos ventos da análise NOAA/NCEP originais).

A Figura 3 mostra as diferenças relativas de altura significativa simuladas com grades numéricas apresentando diferentes limites na fronteira sul, em três saídas pontuais na grade regional: plataforma P-25 na Baía de Campos (alto à esquerda), bóia UFSC na Baía de Santos (alto à direita) e bóia 32056 nas proximidades dos limites sul da área de interesse (abaixo no centro).

De uma forma geral, a diferença entre os campos de onda simulados utilizando as duas grades esteve sempre abaixo de 1% em média (barras vermelhas), em todos os pontos de saída. Apenas dois eventos com diferenças relativas acima de 5% foram registrados e, destes, apenas um com diferenças superiores a 10%. Nestes eventos, a altura significativa máxima foi de 1,75 m e 1,51 m, para as quais as duas grades tiveram diferenças de 5% e 7%, respectivamente (i.e., as maiores diferenças ocorreram em momentos onde as alturas eram menores que esses valores). As condições sinóticas associadas a este evento são apresentadas na Figura 4.

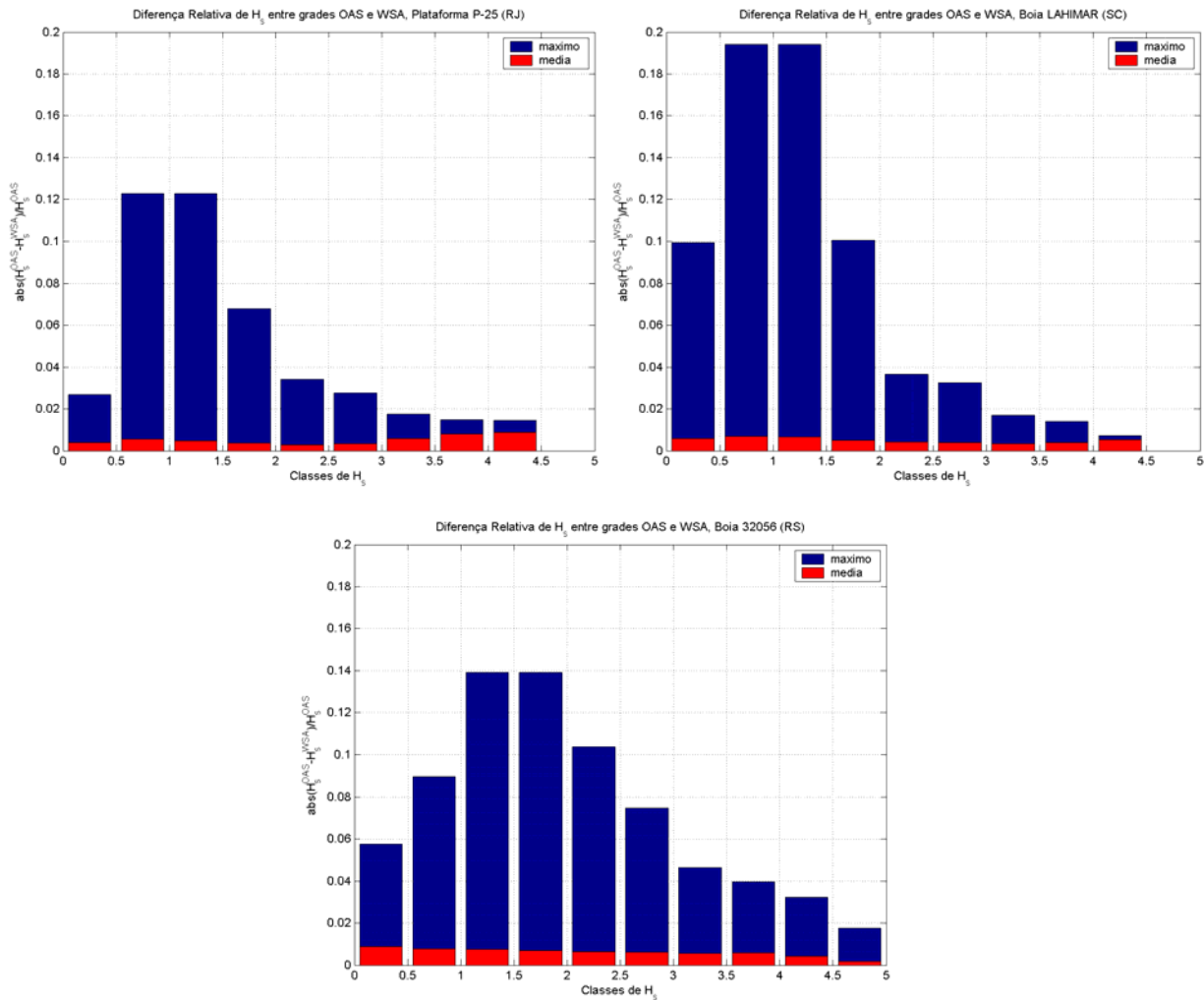
As cartas sinóticas da Figura 4 mostram claramente que o sistema de ondas associado às maiores diferenças entre campos de onda gerados nas duas grades regionais foi gerado numa tempestade que se propagou no sentido oeste-leste, com pistas relevantes à costa brasileira evoluindo ao longo da faixa de latitudes 40°S a 50°S. Esta faixa corresponde justamente à diferença entre as duas grades comparadas. As diferenças observadas neste evento são desprezíveis.

Decidiu-se por manter a grade WSA, com limite em 40°S. A escolha se deu considerando que na grande maioria dos eventos durante o ano de 2001 as duas grades forneceram resultados essencialmente consistentes. A escolha também foi influenciada pelo fato de uma grade menor permitir uma redução substancial do esforço computacional.

## DEFINIÇÃO DE SAÍDAS PONTUAIS NA GRADE REGIONAL

Uma das opções do modelo WAVEWATCH III é a saída pontual de espectros direcionais  $E(f, \theta)$  na resolução da grade espectral nativa do modelo. A execução do *hindcast* de campos de onda, portanto, oferece a oportunidade de gerar saídas pontuais com espectros direcionais completos em locais de interesse.

Saídas pontuais foram organizadas em grades cobrindo áreas de exploração das principais bacias marítimas brasileiras, tais como, Campos, Santos, Foz do Amazonas, Pará-Maranhão, Ceará, Potiguar, Sergipe-Alagoas, Camamu-Almada, Espírito Santo, dentre outras. Outros pontos foram escolhidos de forma a cobrir áreas interligando estas bacias de exploração. Visando a



**Figura 3** – Histogramas ilustrando as diferenças relativas de altura significativa simuladas com grades numéricas apresentando diferentes limites na fronteira sul: OAS (extensão sul até 45°S) e WSA (extensão sul até 40°S).

validação dos resultados do modelo, foram selecionados também 11 pontos coincidindo com a localização de plataformas contendo medições com radares de onda e bóias ondográficas. A Figura 5 ilustra a localização das grades de saídas pontuais, totalizando 256 pontos.

### VALIDAÇÃO DOS CAMPOS DE ONDA SIMULADOS

Saídas pontuais do modelo regional COPAS coincidindo com a localização das plataformas P-18 e P-25 e do ondógrafo *Waverider* mantido pela UFSC com apoio da PETROBRAS, foram utilizadas para validação das simulações feitas para reconstituição de campos de onda pretéritos. A validação apresentada a seguir é feita tomando como referência medições do espectro direcional realizadas nos seguintes locais:

- Plataforma P-25 (Baía de Campos) – medições feitas por radar MIROS entre 06/1999 e 05/2001;
- Plataforma P-18 (Baía de Campos) – medições feitas por bóia entre 02/1999 e 08/1999 e por radar MIROS entre 03/2001 e 10/2001;
- Bóia *Waverider* UFSC/PETROBRAS (Florianópolis, SC) entre 12/2001 e 11/2003.

Resultados da validação são sintetizados na Figura 6 e na Tabela 1. Em termos do parâmetro altura significativa ( $H_s$ ), os diagramas de espalhamento mostrados nas colunas centrais da Figura 6 indicam em geral uma concordância entre simulações e dados medidos em pontos situados na Baía de Campos, fato que é confirmado nos valores de estatísticas de validação para

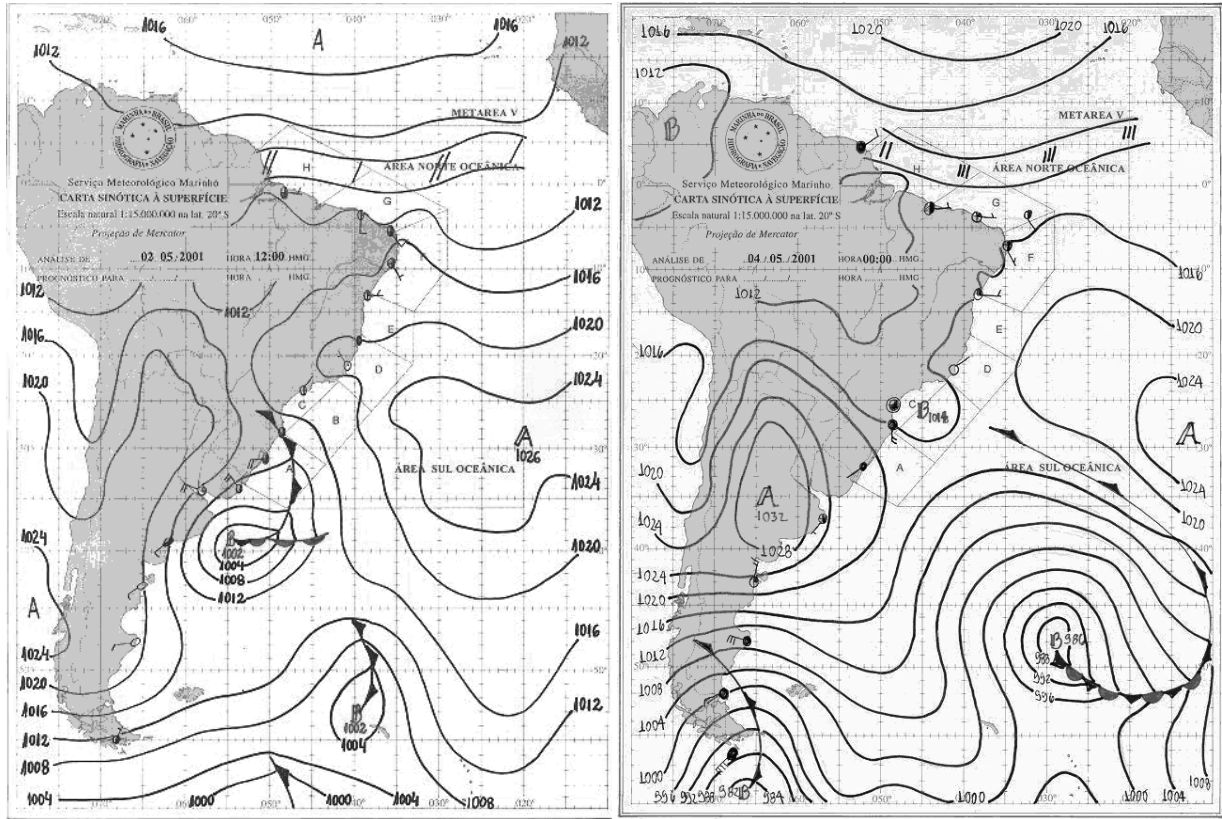


Figura 4 – Cartas DHN de 20010502 12Z e 20010504 00Z. Sistema que deu origem à diferença máxima observada entre grades OAS e WSA.

Tabela 1 – Estatísticas de validação viés (bias), erro médio quadrático (RMS), índice de espalhamento (SI) e coeficiente de correlação (corr) comparando parâmetros integrais do espectro de altura significativa (Hs) e período de pico (Tp) para os três pontos de validação (plataforma P-25, plataforma P-18 e ondógrafo UFSC).

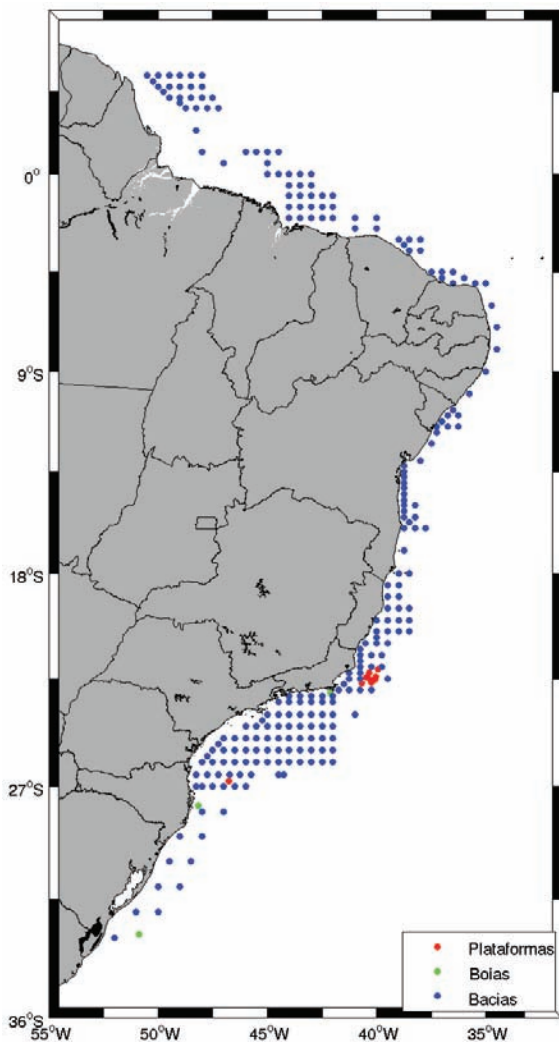
Plataforma	Hs				Tp			
	Bias	RMS (m)	SI	corr	Bias	RMS (s)	SI	corr
P-25	-1,49%	0,46m	0,22	0,75	2,37%	2,27s	0,23	0,57
P-18	4,93%	0,47m	0,22	0,79	1,54%	2,18s	0,25	0,61
UFSC	18,91%	0,55m	0,28	0,75	-2,93%	1,86s	0,19	0,65

Hs apresentados na Tabela 1. Ambos os pontos estão localizados em águas profundas da Bacia de Campos, o que indica que em termos dos parâmetros integrais do campo de ondas Hs e Tp, as simulações feitas no âmbito do COPAS representam satisfatoriamente as condições médias de mar nesta região.

Para o ponto de saída nas proximidades da costa de Santa Catarina (ondógrafo UFSC), localizado nas proximidades da região costeira, valores dos parâmetros de validação estão deteriorados relativamente aos outros dois pontos em termos de Hs. Neste local nota-se uma superestimação sistemática de cerca de 19% dos valores de Hs, um espalhamento moderadamente

superior, mas valores de erro médio quadrático (RMS) e coeficiente de correlação compatíveis com os outros dois pontos.

Uma investigação mais aprofundada sobre as razões para uma performance deteriorada do modelo no ponto de saída próximo a Florianópolis, SC, está além do escopo do presente estudo. No entanto, pode-se afirmar com alguma segurança que um dos prováveis motivos para as maiores disparidades entre dados modelados e medidos neste local deve-se à distância entre o ponto de medição e a costa ser da mesma ordem de grandeza da resolução da grade numérica utilizada, o que em geral acarreta em erros conforme identificado por Tolman (2002).



**Figura 5** – Localização dos 256 pontos de saída estabelecidos para o *hindcast* (em azul), juntamente com os pontos que compõem a grade numérica regional.

Em termos de períodos de pico  $T_p$ , o quadro se inverte em relação ao que ocorre com  $H_s$ . A concordância entre modelo e medições é melhor para o ponto de saída próximo a Santa Catarina, como pode ser verificado nos parâmetros de validação da Tabela 1. Levando-se em conta a maior sensibilidade do período de pico como variável para validação (i.e., em geral períodos médios oferecem uma base de comparação mais sólida entre espectros medidos e modelados devido às suas diferentes naturezas e resoluções e, em alguns casos, metodologias para cálculo de  $T_p$ ), de uma forma geral o modelo tem uma performance satisfatória em todos os pontos, representando geralmente bem os períodos de pico medidos em todos os locais de validação.

Coluna à esquerda na Figura 6 ilustra a performance do modelo COPAS em termos de direções de pico, em relação a medições feitas nos três pontos de validação. A figura mostra

valores médios de viés (bias) para classes de direções medidas em intervalos de  $10^\circ$ , junto aos respectivos valores para 1 e 2 desvios padrão. Cada painel inclui também um histograma de frequências de ocorrência de direções medidas, indicando as faixas de direção predominantes em cada local.

Considerando a sensibilidade do parâmetro direção de pico, similar ao que afeta comparações entre períodos de pico modelados e medidos, pode-se dizer que a performance do modelo para as classes de direção de maior frequência é boa. Desvios direcionais são de no máximo  $30^\circ$  nestas classes. Nota-se uma tendência dos valores de viés serem negativos ou positivos para direções abaixo ou acima de  $120^\circ$ , refletindo tendências também observadas nos vetores velocidade de vento.

Com base nas estatísticas de validação apresentadas acima, pode-se concluir que a performance do modelo regional COPAS em termos de reconstituir, em média, os campos de onda pretéritos na região de estudos é satisfatória. Ou seja, reflete corretamente ou satisfatoriamente as condições médias observadas nos pontos de validação durante seus respectivos períodos de medição.

#### AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE PARA EVENTOS SEVEROS

Três eventos refletindo campos de onda gerados por tempestades severas na região de estudos foram selecionados a partir de medições de onda feitas com radar MIROS na plataforma P-25, na Baía de Campos. Nas seguintes datas, a altura significativa do campo de ondas dominante teria excedido 5 m:

24/09/1999,  $H_s = 5,07\text{m}$ ,  $T_p = 13,84\text{s}$

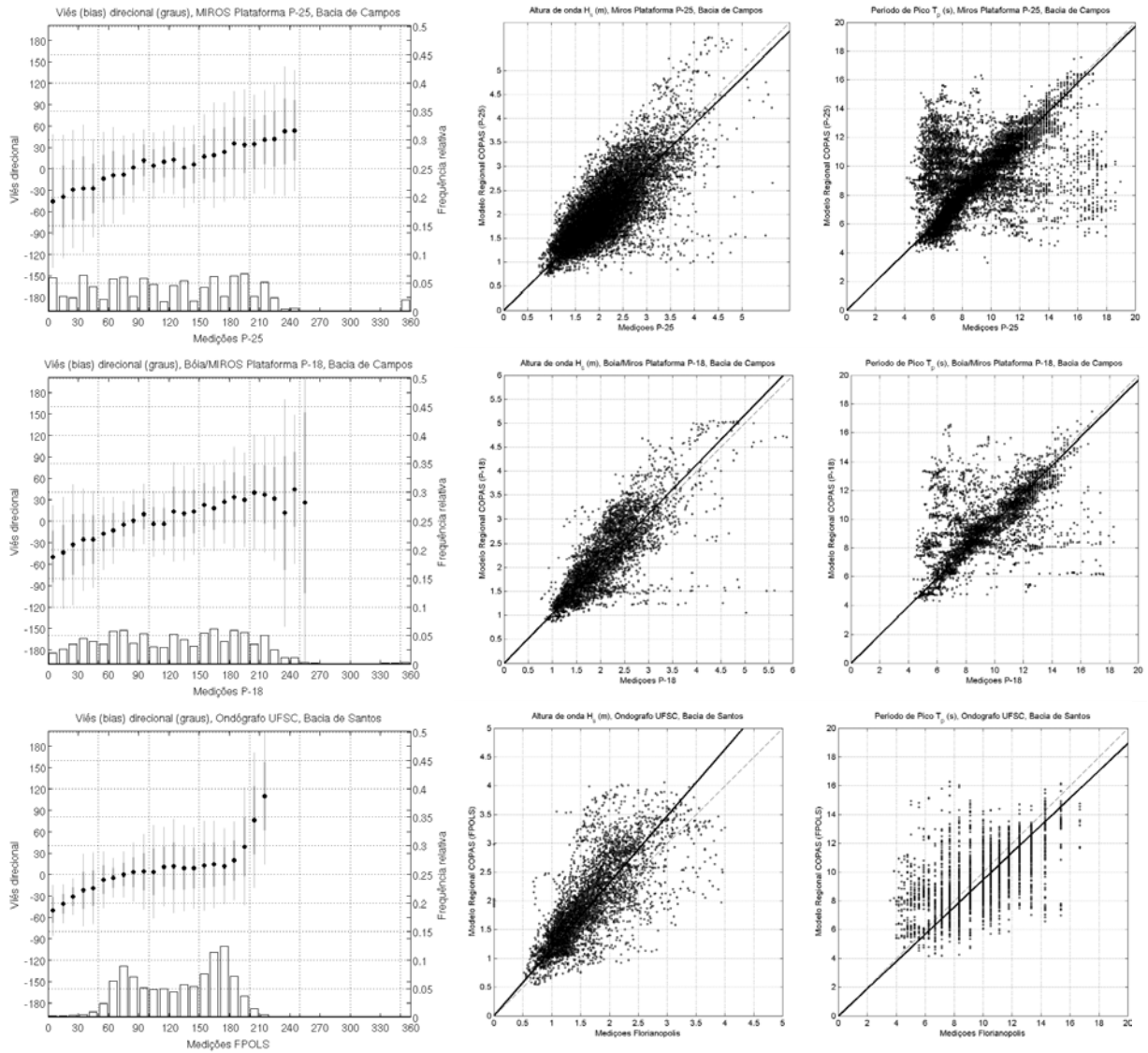
17/07/2000,  $H_s = 5,55\text{m}$ ,  $T_p = 13,84\text{s}$

29/09/2000,  $H_s = 5,63\text{m}$ ,  $T_p = 9,85\text{s}$

Comparações preliminares entre séries temporais de  $H_s$  medidas e modeladas para esses eventos, no entanto, revelaram a possibilidade de erros nas estimativas de  $H_s$  obtidas a partir das medições do radar MIROS. Tais evidências se manifestaram em diversos casos, onde os valores de altura significativa pareceram variar de forma pouco realista. Conseqüentemente, optou-se por descartar os eventos suspeitos. Uma reavaliação destes eventos é recomendada em futuros estudos utilizando os dados modelados gerados no âmbito do experimento COPAS.

Apesar da existência de eventos com medições potencialmente problemáticas, os três casos foram retidos por apresentarem qualidade aparentemente boa. Tais eventos registraram alturas significativas máximas de 5,07 m (dia 24/09/1999), 5,55 m (17/07/2000) e 5,63 m (29/09/2000). Apesar de ser recomen-





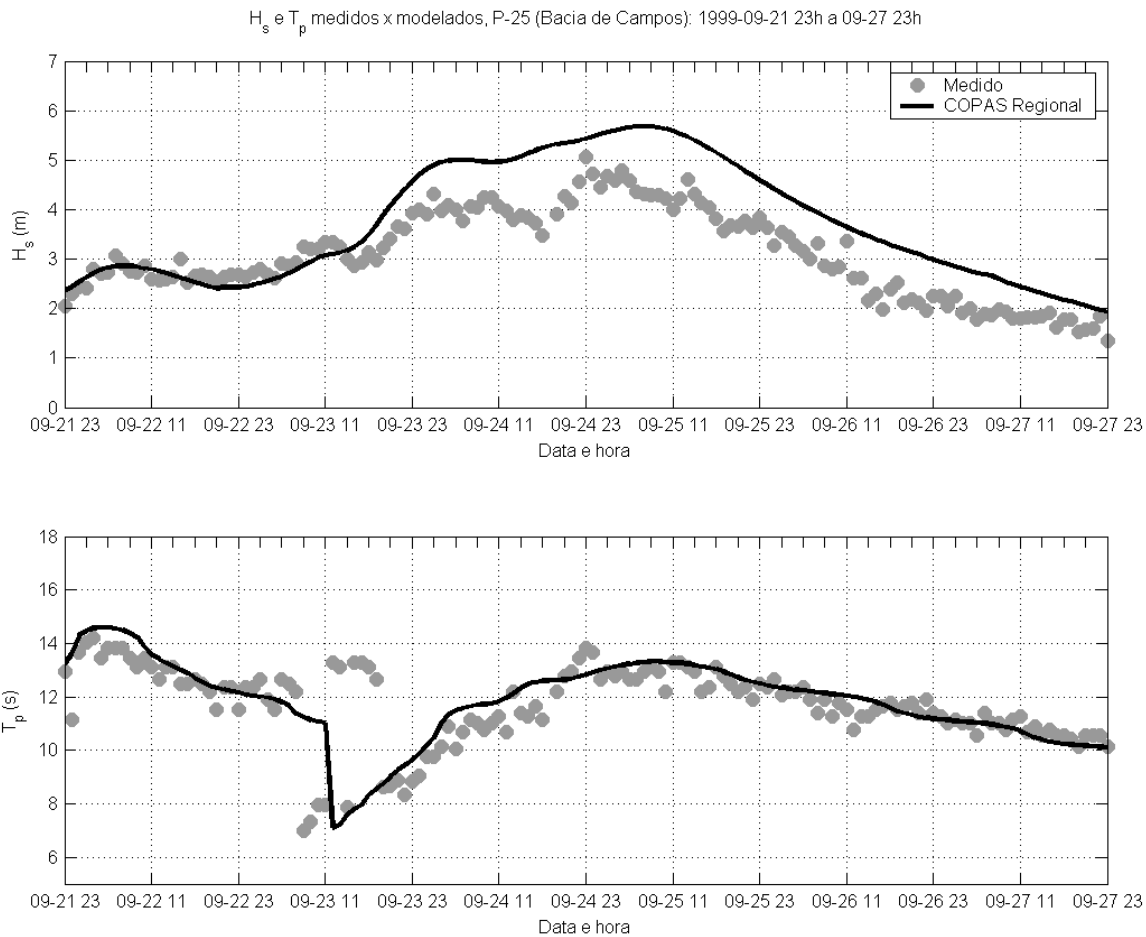
**Figura 6** – Diagramas mostrando a performance das simulações de campos de onda pretéritos em relação a medições feitas nas plataformas P-25 (alto) e P-18 (centro) e no ondógrafo da UFSC (abaixo). Na coluna à esquerda são mostrados os viés médios das direções de pico modeladas (círculos) e seus respectivos intervalos de um e dois desvios-padrão (linhas verticais grossa e fina), plotadas contra direções medidas; o histograma na parte inferior de cada painel indica a frequência relativa de cada classe de direções medidas (conforme o eixo à direita destes painéis). Diagramas na coluna central mostram os *scatterplots* de  $H_s$  modelado vs. medido. Na coluna à direita são mostrados os *scatterplots* para o período de pico  $T_p$ .

dada uma avaliação mais aprofundada da qualidade destes dados, uma avaliação bastante sucinta da performance do modelo regional COPAS tomando-os como referência é feita a seguir.

Para o evento do dia 24/09/1999 ( $H_s$  máxima = 5,07 m), cujas séries temporais são mostradas na Figura 7, a comparação entre medições e campos simulados é relativamente boa. A região de alturas significativas máximas, registrada entre 23/09 23h e 25/09 23h, é superestimada pelo modelo com viés médio de cerca de 15%. Os tempos de chegada das alturas máxima e restabeleci-

mento das condições de calma são consistentes entre medições e modelo. Em termos de períodos de pico, a concordância é alta: simulações representam de forma precisa praticamente todas as variações observadas nas propriedades deste parâmetro para os campos de onda dominantes.

No dia 17/07/2000, as alturas significativas máximas registradas foram de 5,55 m. Séries temporais para este evento são mostradas na Figura 8. Neste evento, a concordância entre dados modelados e medidos é também relativamente alta, em termos de



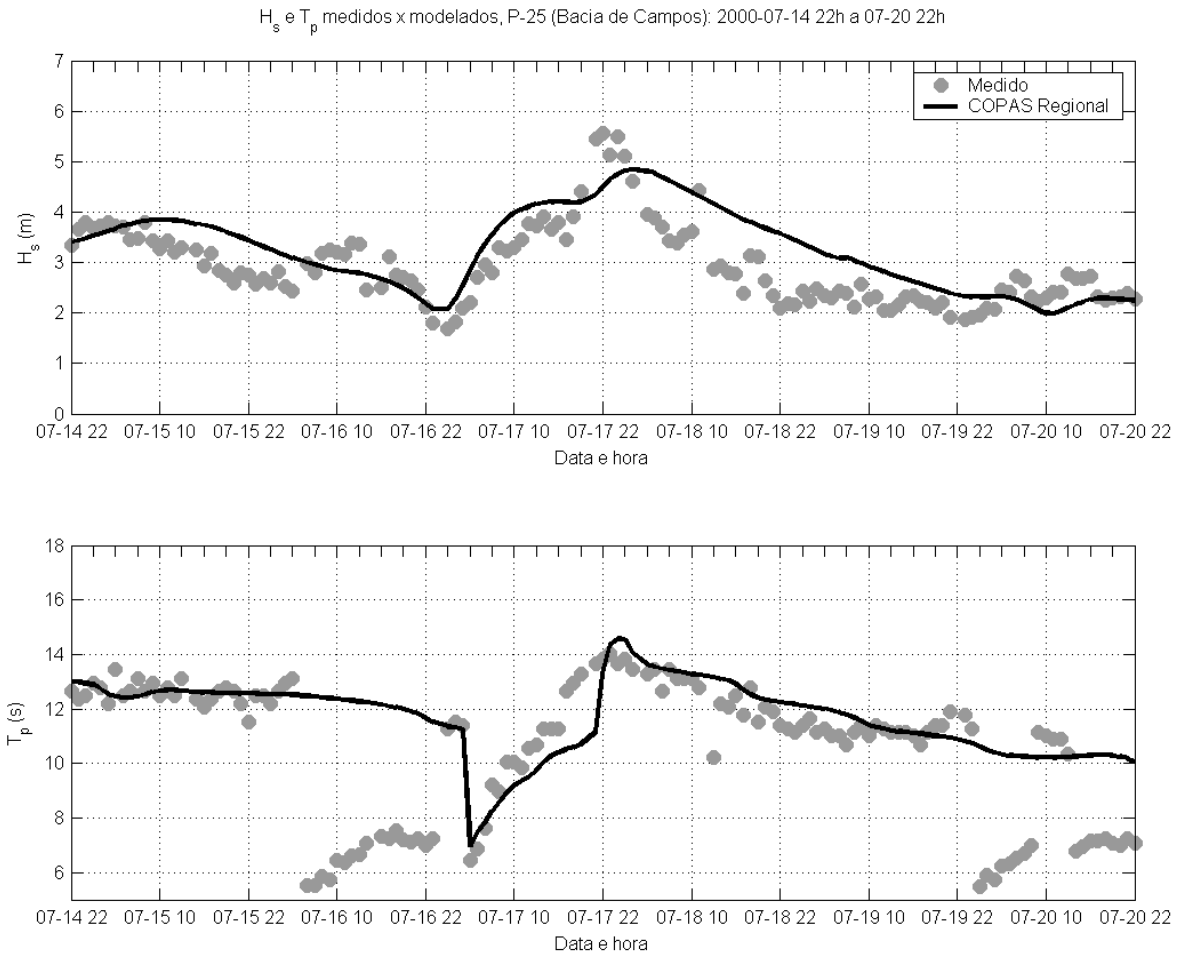
**Figura 7** – Séries temporais de  $H_s$  e  $T_p$  medidos *versus* modelados na plataforma P-25 para o evento com altura significativa máxima  $H_s = 5,07$  m no dia 24/09/1999.

$H_s$ . As horas de chegada e decaimento da região de  $H_s$  máximas são bem representadas pelo modelo, sendo a intensidade da chegada muito bem reproduzida e o decaimento moderadamente superestimado. Máximos de  $H_s$  são subestimados pelo modelo em cerca de 10% (deve-se ter cuidado no entanto nesta interpretação, uma vez que medições representam valores horários, enquanto o modelo reflete propriedades integradas em períodos com intervalos de 3h).

Simulações para o evento de 17/07/2000 não retratam com precisão a entrada do mar local associado à tempestade geradora na série de  $T_p$ , no dia 16/07. A série medida, no entanto, indica a co-existência de *swell* e mar local com intensidades compatíveis nos primeiros momentos, como pode ser visto na variação dos registros medidos por volta do dia 16/07 às 22h. Isto indica que o modelo subestima a intensidade do mar local nos primeiros momentos. O modelo, no entanto, representa com precisão os valores de  $T_p$  medidos durante o período de maior intensidade da tempestade (entre 16/07 22h e 18/07 22h).

A Figura 9 mostra as séries temporais de  $H_s$  e  $T_p$  associadas ao evento com  $H_s$  máxima de 5,63 m, no dia 29/09/2000. A ocorrência deste evento está ausente na simulação dos campos de onda. Isto pode refletir um problema inerente à metodologia aplicada, que utiliza forçantes atmosféricas geradas por um modelo global, cuja resolução média para o período considerado era da ordem de  $1,5^\circ$ . Tal resolução pode representar incorretamente ou simplesmente ignorar a ocorrência de fenômenos de menor escala, como a passagem de frentes intensas ou a ocorrência de ciclones compactos de grande intensidade.

Esta seção mostra que as simulações realizadas com o modelo regional COPAS reproduzem geralmente bem a ocorrência de estados de mar mais severos, tanto em termos de  $H_s$  quanto de  $T_p$ . No entanto, eventos associados a sistemas atmosféricos mais compactos podem ser ignorados devido à resolução das forçantes atmosféricas empregadas. Nestes casos, campos de vento com mais alta resolução devem ser assimilados nos campos atmosféricos globais para a realização de simulações ca-



**Figura 8** – Séries temporais de  $H_s$  e  $T_p$  medidos *versus* modelados na plataforma P-25 para o evento com altura significativa máxima  $H_s = 5,55$  m no dia 17/07/2000.

pazes de representar mais corretamente os campos de onda. Um exemplo de metodologia para execução de tais simulações é apresentado em Alves et al. (2005).

### ESTUDO DE CASO USANDO PRODUTOS DO MODELO DE ONDAS

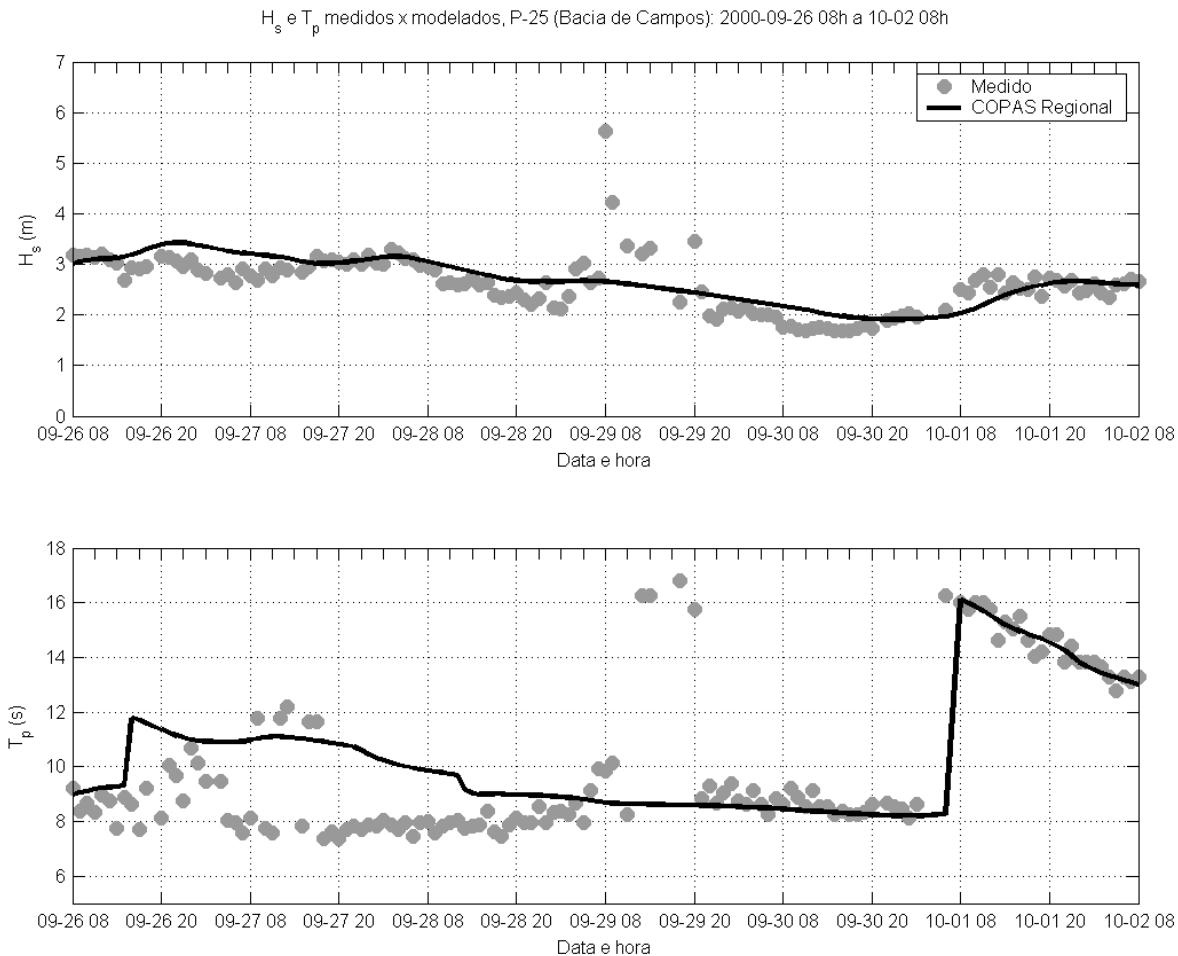
Nesta seção é feita uma breve descrição de como os produtos (espectros em pontos de saída e campos de parâmetros integrais do espectro de ondas) podem ser usados na interpretação de eventos de estado de mar severos. Para este fim, escolheu-se o evento do dia 17/07/2000 ( $H_s$  máxima de 5,55 m). As Figuras 10 a 14 mostram campos de parâmetros integrais e espectros de onda associados a este evento para os dias 16/07 às 0h e 12h e 17/07 às 0h e 21h (campos de parâmetros integrais) e entre 16/07 e 18/07 a intervalos de 3h (espectros bidimensionais).

A Figura 10 mostra a evolução dos campos de altura sig-

nificativa em toda a grade do modelo regional COPAS, para o evento escolhido. Vê-se claramente o deslocamento para o norte ao longo da costa brasileira, de um campo de ondas com alturas máximas excedendo 8 m. Este campo de ondas se desvia para oceano aberto, mas uma região extensa com  $H_s$  entre 5 m e 7 m, ao redor da área de máximos, chega à Bacia de Campos, provocando o estado de mar severo medido na plataforma P-25.

Na Figura 10, a evolução dos campos de  $H_s$  demonstra a existência prévia de pelo menos um campo de ondas dominante associado a uma região com núcleo de  $H_s$  máximos entre 5 m e 6 m visto no quadrado limitado pelas coordenadas 30-40°S e 20-30°W. A evolução dos campos de período de pico  $T_p$  é mostrada na Figura 11. Aqui se vê mais claramente a seqüência de campos de onda dominantes na região da Bacia de Campos.

Primeiro, campos de *swell* provenientes de Sudoeste dominam praticamente todo o oeste do Atlântico Sul. Este estado de mar deixa de ser dominante, no momento em que ondas



**Figura 9** – Séries temporais de  $H_s$  e  $T_p$  medidos *versus* modelados na plataforma P-25 para o evento com altura significativa máxima  $H_s = 5,63$  m no dia 29/09/2000.

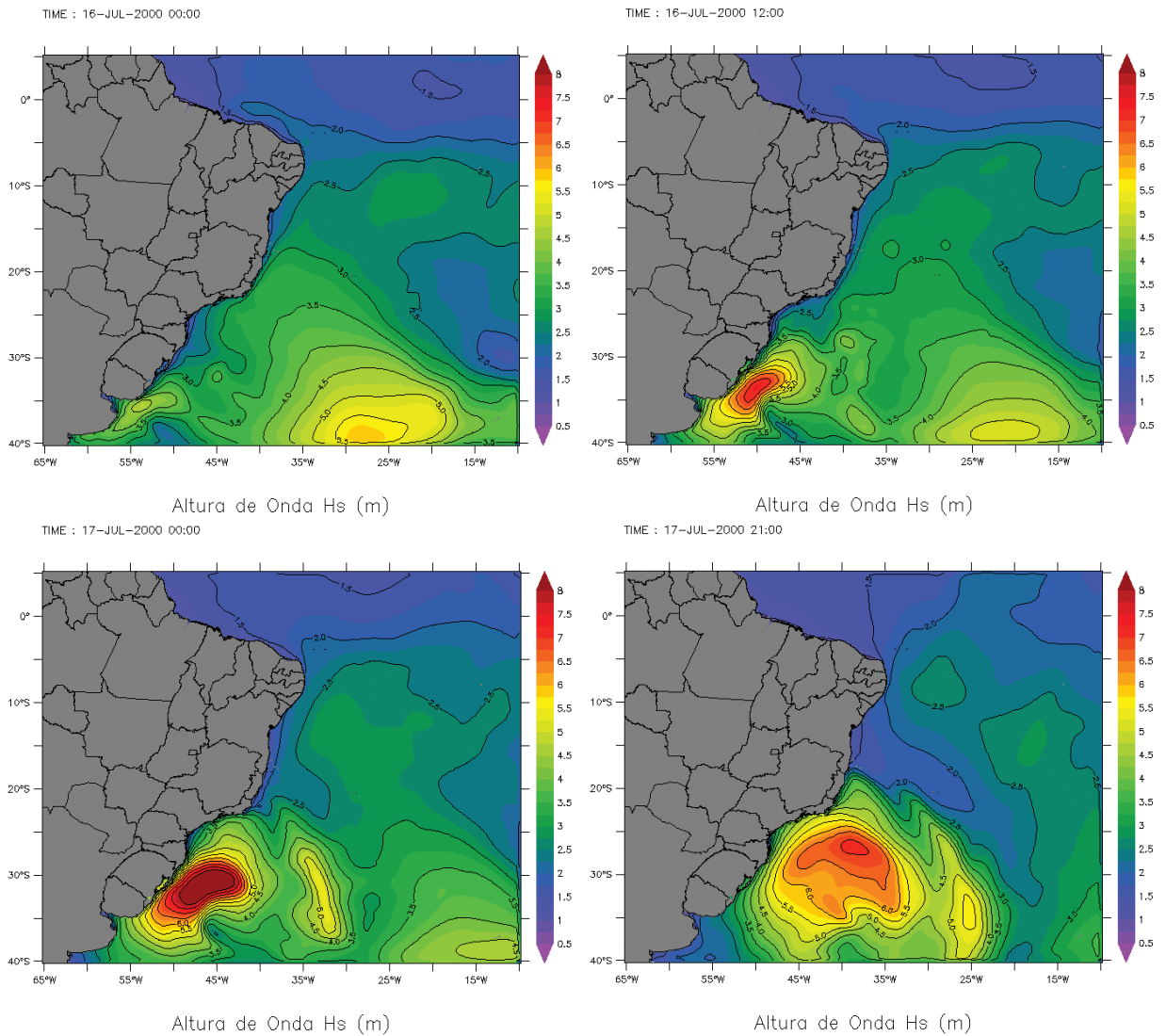
do quadrante norte, provavelmente gerados pela circulação atmosférica à superfície associada ao anticiclone atlântico, passam a dominar algumas áreas. Com a aproximação e chegada das ondas definidoras do evento selecionado, os campos de onda dominantes passam a ter novamente características de *swell* proveniente de sudoeste.

A Figura 12 mostra os campos de vento à superfície provenientes do modelo global NOAA/NCEP, utilizados no modelo regional COPAS. Pode-se ver claramente a origem de dois dos campos de onda identificados nas figuras anteriores. A evolução de um sistema de baixa pressão se propagando para o Norte, ao longo da costa brasileira, com pistas de vento acumuladas na direção de origem sudoeste, confirma a origem e intensificação do sistema de ondas que gera o estado de mar severo proveniente de sudoeste, com períodos típicos de *swell*, observado na plataforma P-25. Os campos de vento à superfície evidenciam ainda a intensificação de ventos no setor a oeste do anticiclone

semipermanente sobre o Atlântico, gerando pistas extensas e intensas que explicam o mar local dominante que aparece nos campos de  $T_p$  do painel superior direito da Figura 11. Finalmente, observam-se os campos de vento do quadrante norte de um sistema já se propagando sobre o limite sul da grade regional, responsável pela geração de ondas dominantes na Bacia de Campos nas primeiras horas do dia 16/07.

Na Figura 13 são mostrados períodos e direções, associados à geração local de ondas. No modelo WAVEWATCH III, mar local (*windsea*) é definido como um campo de ondas que cresce em resposta a um fluxo positivo de energia proveniente do vento local. As regiões do espectro nas quais isto ocorre são facilmente identificadas como aquelas onde o termo-fonte de interação vento-onda tem valores positivos.

Considerando o ponto de medição selecionado, os campos de *windsea* identificados nas simulações correspondem (1) a ondas do quadrante norte, geradas pela intensificação do se-



**Figura 10** – Campos de altura significativa Hs (m) gerados pelo modelo regional COPAS durante o evento de mar severo observado em julho de 2000.

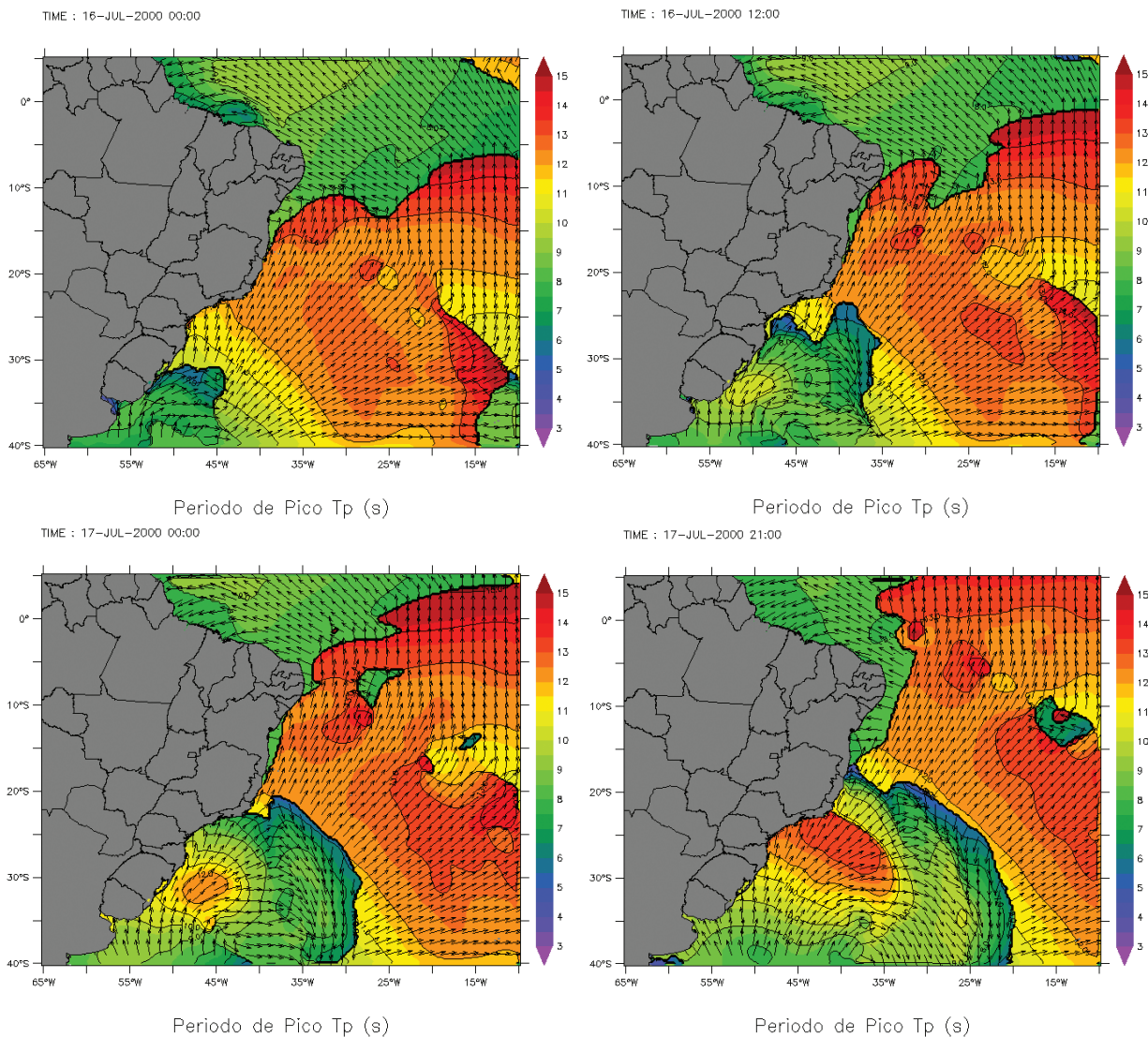
tor de ventos ao norte do anticiclone semipermanente e (2) ao campo de ondas que gera as alturas acima de 5 m observadas na plataforma P-25. Portanto, fica evidente que apesar dos altos valores de período de pico indicados na Figura 11, o estado de mar severo selecionado na realidade se trata da sobreposição de um campo de *windsea* com períodos elevados, resultante do crescimento do campo de ondas sob influência dos efeitos de acumulação de pista, e de *swell* gerado em momentos anteriores da evolução do sistema de ventos ao longo da costa.

Finalmente, as análises deste evento são concluídas com a Figura 14, mostrando a evolução dos espectros bidimensionais de energia associados aos campos de parâmetros integrais descritos acima, a intervalos de 3h. Ao centro de cada espectro

representado está incluído o vetor do vento à superfície local.

Nos 8 primeiros espectros, verifica-se a existência de um campo persistente de *swell* proveniente do quadrante sudoeste. Uma observação mais detalhada do sinal deste *swell* revela que se trata na realidade de dois campos de *swell* que se sobrepõem gradualmente. Estes campos estariam associados ao sistema de ondas dominante no dia 16/07 e ao campo de *swell* gerado mais ao sul pela tempestade associada ao evento severo observado no dia 17/07.

Nestes primeiros oito espectros também se observa a transição gradual dos vetores de vento local devido à alteração da circulação do anticiclone, provocada pela chegada do sistema de baixa pressão associado ao evento de mar severo. Esta transição



**Figura 11** – Campos de período de pico  $T_p$  (s) gerados pelo modelo regional COPAS durante o evento de mar severo observado em julho de 2000.

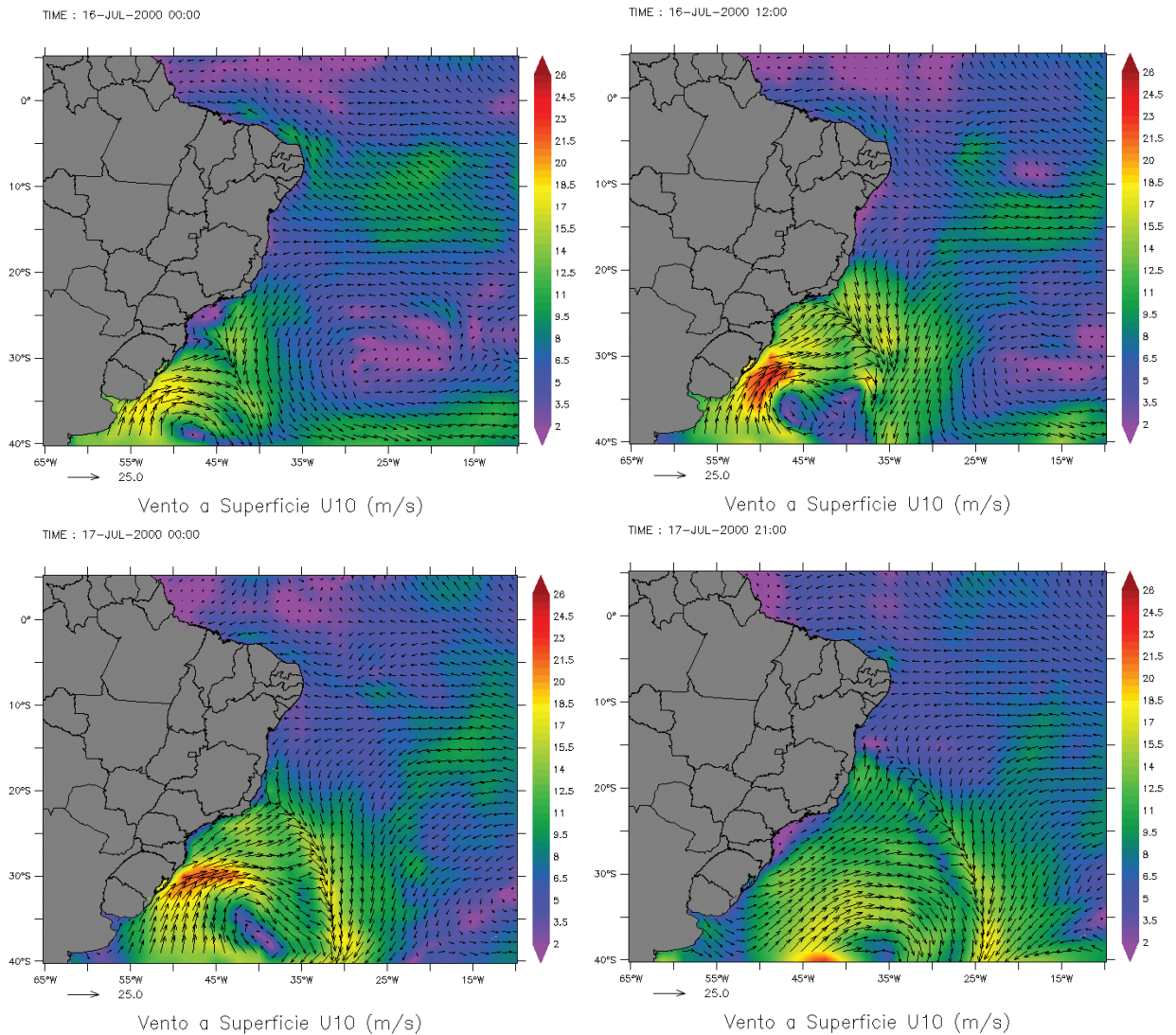
provoca a mudança do regime local de ondas de um campo inicialmente proveniente de nordeste para um campo com direções dominantes mais alinhadas com o norte.

A chegada do evento de mar severo é registrada no espectro das 0h do dia 17/07. Nota-se aí o aparecimento de uma região espectral de alta frequência proveniente de sudoeste, que rapidamente alcança os níveis de energia do mar local, se tornando dominante a partir das 06h do dia 17/07. Gradativamente, este sistema passa a dominar totalmente os campos de ondas locais, que ainda assim contam com uma contribuição de ondas dos quadrantes norte-nordeste. Progressivamente, observa-se uma redução da intensidade do vento local, a despeito de um aumento inicial dos valores de  $H_s$ ; um aumento dos períodos de pico para

valores acima de 10s e, finalmente, já nas primeiras horas do dia 18/07, uma redução dos valores de  $H_s$ . Em outras palavras, o campo de ondas dominante passa, gradativamente, a exibir características de *swell* compatíveis com o afastamento do sistema atmosférico gerador do ponto de medições.

## CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou os resultados da reconstituição do clima de ondas no sul-sudeste brasileiro no período de janeiro de 1997 a março de 2005 no formato de um experimento numérico, chamado de “Reconstituição dos Campos de Onda Pretéritos no oceano Atlântico Sul (COPAS)”. O objetivo deste experimento foi produzir um banco de dados contendo campos



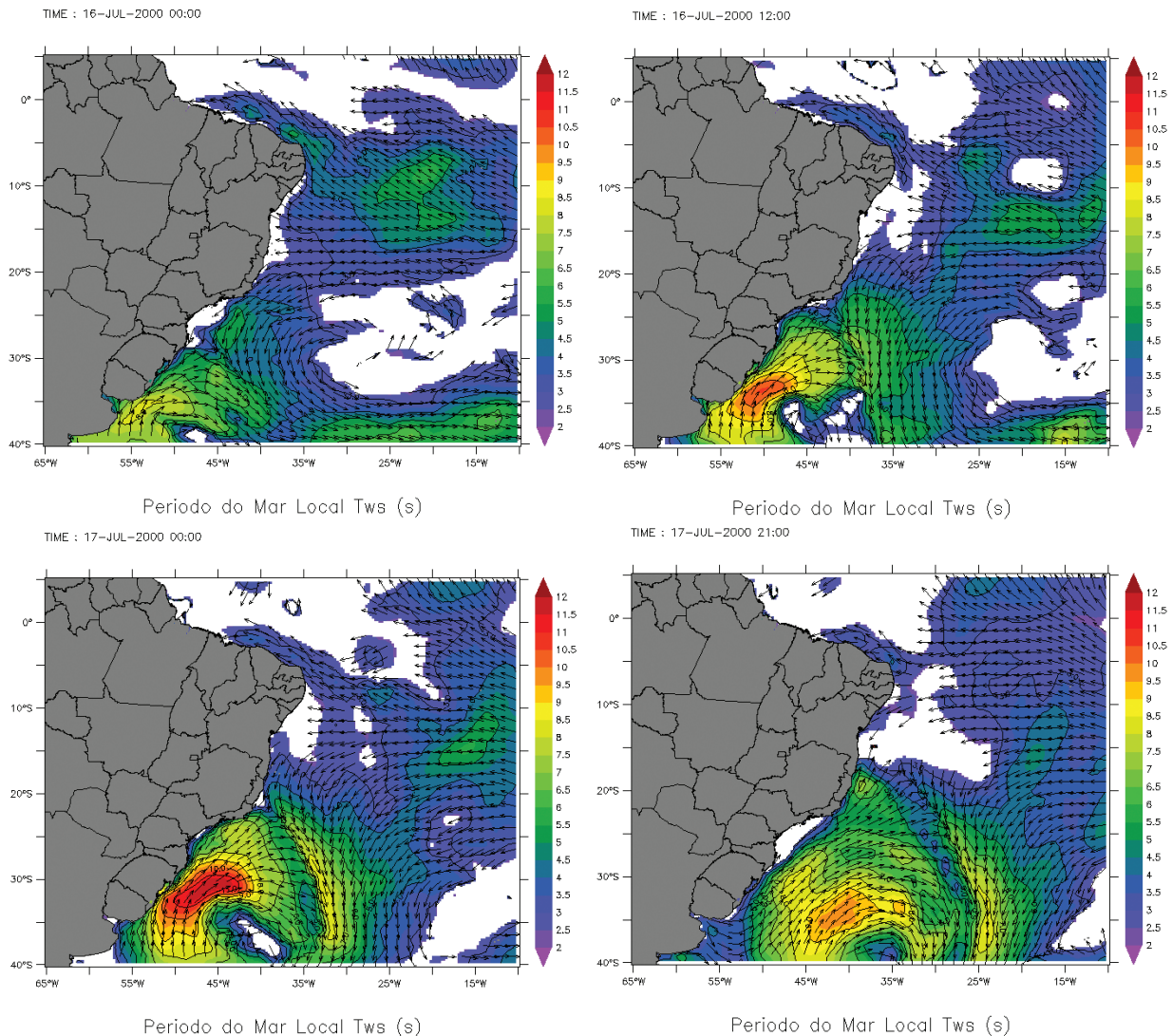
**Figura 12** – Campos de vento à superfície (m/s) utilizados pelo modelo regional COPAS durante o evento de mar severo observado em julho de 2000.

de onda pretéritos, gerados na forma de *hindcast* para a bacia sudoeste do oceano Atlântico Sul, utilizando o modelo WAVE-WATCH III, que encontra-se no estado-da-arte mundial.

Neste trabalho foram apresentados resultados de testes realizados para determinar as configurações das grades numéricas mais adequadas para o estudo e testes numéricos feitos para verificação e calibração da qualidade dos ventos e forçantes selecionadas para a elaboração do *hindcast* dos campos de onda.

Baseado nos resultados discutidos da validação das simulações de campos de onda pretéritos e uma breve avaliação do desempenho do *hindcast* do campo de ondas, através de estudos de caso observados em medições na plataforma P-25 onde valores de altura significativa ultrapassaram 5 m, pode-se concluir que:

- Nas Bacias de Campos e Santos para velocidades de ventos medidas inferiores a 7,5 m/s os ventos modelados superestimam estes, enquanto que para ventos maiores que 7,5 m/s os ventos modelados subestimam os valores medidos;
- Uma análise de sensibilidade das extensões da grade mostrou que o limite sul sendo em 40°S ou 45°S não interfere na propagação das ondulações;
- Com base nas estatísticas de validação, a performance do modelo regional COPAS reconstituiu os campos de onda pretéritos médios na região de estudos de forma satisfatória;
- Simulações realizadas com o modelo regional COPAS reproduziram geralmente bem a ocorrência de estados



**Figura 13** – Campos de período médio (s) e direções médias de *windsea* gerados pelo modelo regional COPAS durante o evento de mar severo observado em julho de 2000.

de mar mais severos, tanto em termos de  $H_s$  e de  $T_p$ , para eventos observados em medições feitas na plataforma P-25;

- Eventos associados a sistemas atmosféricos mais compactos podem ser ignorados devido à resolução das forçantes atmosféricas empregadas, como o evento do dia 29/09/2000. Nestes casos é recomendado o uso de ventos com mais alta resolução, que devem ser assimilados aos campos atmosféricos globais. Testes de sensibilidade da resolução do campo de ventos com o WW3 para averiguar a representação de estados de mar extremos seriam interessantes objetos de estudos futuros;
- Sobre o evento do dia 17/07/2000, pode se dizer que foi

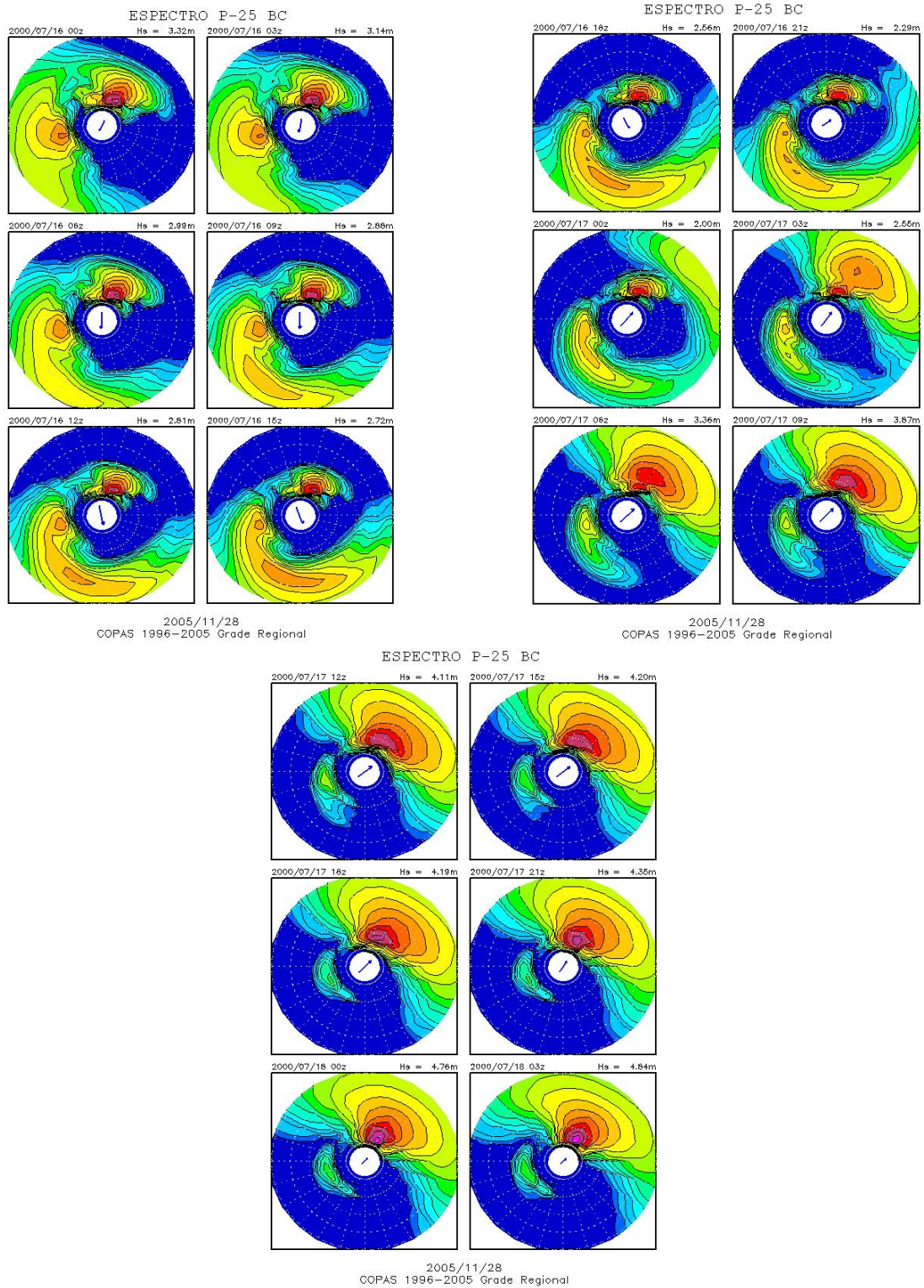
resultado de um estado de mar local (*windsea*) e de *swell* gerado em momentos anteriores da evolução do sistema de ventos ao longo da costa, portanto um evento extremo bimodal.

A reconstituição de campos de onda pretéritos é muito utilizada em diversas regiões produtoras de petróleo no mundo, tais como oeste da África, Mar do Caribe entre outras, e permite gerar informações muito úteis para locais com carência de medições *in situ* de ondas, como o extenso litoral brasileiro.

#### AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer à PETROBRAS pela disponibilização dos dados de ondas para validação do modelo numérico.





**Figura 14** – Espectros bidimensionais de energia gerados pelo modelo regional COPAS no ponto coincidente com a localização da plataforma P-25, para o evento de mar severo observado em julho de 2000. Contornos indicam concentrações de energia, sendo normalizados pelo valor máximo do espectro. Para cada espectro são indicados o vetor do vento à superfície local, a data/hora e a altura significativa correspondente. As direções no espectro são no sentido não convencional adotado para ondas, estão apontando de onde as ondas vêm e não para onde vão.

Agradecemos também ao Engenheiro Luis Manoel Paiva Nunes pela utilização de recursos financeiros do seu projeto de pesquisa para a realização do presente trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ALVES JHGM. 2006. Numerical Modeling of Ocean Swell Contributions to the Global Wind-Wave Climate. *Ocean Modelling*, 11: 98–122.
- ALVES JHGM, CHAO YY & TOLMAN HL. 2005. The Operational North Atlantic Hurricane Wind-Wave Forecasting System at NOAA/NCEP. NOAA/NWS/NCEP/MMAB Technical Note No. 244, 59 pp.
- ALVES JHGM, GROSSMANN MATHESON GS & RIBEIRO EO. 2008. Reconstituição de Campos de Ondas em Eventos Severos da Costa Sudeste Brasileira através de Modelagem Numérica. III Congresso Brasileiro de Oceanografia. I Congresso Ibero-Americano de Oceanografia – I CIAO. Fortaleza (CE). CD-ROM.
- BOOIJ N, RIS RC & HOLTHUIJSEN LH. 1999. A third-generation wave model for coastal regions, Part I, Model description and validation. *J. Geophys. Res.*, 104(C4): 7649–7666.
- CANDELLA RN, GROSSMANN GS & QUENTAL SHAJ. 1999. Reconstituição de Condições de Ondas no oceano Atlântico Sul com a utilização de Modelo de Terceira Geração. *Revista Pesquisa Naval*, 12: 123–134.
- KOMEN GJ, CAVALERI L, DONELAN M, HASSELMANN K, HASSELMANN S & JANSSEN PAEM. 1994. Dynamics and modelling of ocean waves. Cambridge University Press, 532 pp.
- PETROBRAS. 2002. 15 Anos de Vento na Bacia de Campos. Relatório Técnico PETROBRAS/CENPES/PDP/MC 049/2002.
- RIBEIRO EO, ANDRIONI M, MARTINS RP, GROSSMANN MATHESON G, ALVES JH & NUNES LMP. 2009. Climatologically modeled wave field Analyses in the Western South Atlantic. Proceedings of the ASME 28th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, OMAE2009 – 79457. CD-ROM.
- ROCHA RP, SUGAHARA S & BONFIM DA SILVEIRA R. 2004. Sea Waves Generated by Extratropical Cyclones in the South Atlantic Ocean: Hindcast and Validation against Altimeter Data. *Weather and Forecasting*, ISSN 0882-8156 CODEN WFOE3, 19(2): 398–410.
- STERL A, KOMEN GJ & COTTON PD. 1998. Fifteen years of global wave hindcasts using winds from the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts reanalysis: Validating the reanalyzed winds and assessing the wave climate. *J. Geophys. Res.*, 103(C3): 5477–5492.
- TOLMAN HL. 1998. Validation of NCEP's ocean winds for the use in wind wave models. *Global Atmosphere and Ocean System*, 6: 243–268.
- TOLMAN HL. 2002. User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22. NOAA/NWS/NCEP/OMB Technical Note No. 222, 133 pp.
- TOLMAN HL & CHALIKOV DV. 1996. Source terms in a third-generation wind wave model. *J. Phys. Oceanogr.*, 26: 2497–2518.
- WASHINGTON WM & PARKINSON CL. 1986. An Introduction to Three-Dimensional Climate Modeling. University Science Books, 422 pp.

## NOTAS SOBRE OS AUTORES

**Jose Henrique Gomes de Mattos Alves.** Possui graduação em Comunicação Social pela Faculdade da Cidade (1989), graduação em Oceanografia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (1991), mestrado em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (1996) e doutorado em Matemática Aplicada/Oceanografia pela University of New South Wales (2000). Atuando principalmente nos seguintes temas: ondas de vento, wind-waves, interações oceano-atmosfera, previsão de ondas, geração de ondas e wave models. Atualmente na empresa: RPS Metocean, Perth, Austrália.

**Eric Oliveira Ribeiro.** Desde 1998 atuando em instrumentação oceanográfica, análise de dados e modelagem numérica. Bacharel em Oceanografia pela UERJ (1997). Mestre em Engenharia Oceânica pela COPPE/UFRJ (2004). Pesquisador responsável pela instrumentação e campanhas meteo-oceanográficas, IEAPM Marinha do Brasil (1998-2000). Oceanógrafo responsável pela análise de dados em sensoriamento remoto, estudos ambientais e modelagem numérica, OCEANSAT Tec. Espacial (2000-2002). Atualmente no CENPES, PETROBRAS. Analista Ambiental Pleno Oceanógrafo responsável pelas especificações técnicas para projetos de engenharia *onshore* e *offshore*. Processamento, consistência e análise de dados meteo-oceanográficos. Coordenação de projetos de pesquisa meteo-oceanográfica e desenvolvimento de *software* para análise de dados.

**Guisela Santiago Grossmann Matheson.** Bacharel em Oceanografia pela UERJ (1999). Desde 1999 atuando em processamento e análise de dados. Mestre em Geofísica Marinha pelo LAGEMAR/UFF (2002). De 06/2002 a 01/2003 Geofísica Jr. Integrante da equipe de processamento de dados sísmicos, GAIA Processamento de Dados Ltda. De 01/2003 a 11/2005 Oceanógrafa Pl. Integrante da equipe de licenciamento ambiental, PETROBRAS. De 12/2005 até hoje Analista Ambiental Pl. Oceanógrafa, PETROBRAS/CENPES. Responsável pela elaboração de especificações técnicas para projetos de engenharia *offshore*; processamento, consistência e análise de dados meteo-oceanográficos; coordenação do banco de dados meteo-oceanográficos e apoio aos projetos de pesquisa na área de meteo-oceanografia.

**José Antonio Moreira Lima.** Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Escola Politécnica (1984), mestrado pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia (1986) e doutorado em Matemática Aplicada – Oceanografia pela University of New South Wales (1998). Atualmente é Oceanógrafo Sênior do Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello (CENPES, PETROBRAS).

**Carlos Eduardo Parente Ribeiro.** Graduação em Engenharia Eletrônica pela PUC-RJ (1966), Aperfeiçoamento de Eletrônica para Oficiais pela Marinha do Brasil (1964), especialização em Underwater Acoustics pela Underwater Sound Laboratory US Navy (1968), especialização em Geofísica Marinha pela Fundação de Estudos do Mar – FEMar (1974), Curso de Comando e Estado Maior pela Escola de Guerra Naval – EGNaval (1975), especialização em Underwater Acoustics pela EGNaval (1979), Curso Avançado de Sonar pela Tracor Applied Sciences, USA (1981). Mestrado (1977) e doutorado (1999) em Engenharia Oceânica pela UFRJ. Atualmente é Professor Adjunto da UFRJ. Experiência na área de Oceanografia Física, principalmente nos seguintes temas: Análise Espectral e Direcional de Ondas.