

# Análise comparativa dos espectros de ondas observados ao largo de Santa Catarina e de Rio Grande por ondógrafos, radar de abertura sintética e derivados de modelo

Jansen S. Poças<sup>1</sup>, João A. Lorenzetti<sup>2</sup>, Eloi Melo F<sup>3</sup> & Davide Franco<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Mestrando do Curso de Sensoriamento Remoto – INPE, São José dos Campos, SP –  
jansensp@dsr.inpe.br

<sup>2</sup>Divisão de Sensoriamento Remoto – INPE, São José dos Campos, SP –  
loren@dsr.inpe.br

<sup>3</sup>Laboratório de Engenharia Costeira, Escola de Engenharia - FURG, Rio Grande, RS -  
melo.eloi@gmail.com

<sup>4</sup>Laboratório de Hidráulica Marítima - UFSC, Florianópolis, SC –  
franco@ens.ufsc.br

**RESUMO:** Radares de Abertura Sintética (SAR) a bordo de satélites constituem uma importante ferramenta para o monitoramento do campo de ondas na superfície do oceano. Entretanto, a geração do espectro bidimensional dessas feições oceânicas por meio de SAR possui limitações associadas ao mecanismo de imageamento (processamento Doppler) e ao movimento orbital das partículas d'água. A fim de avaliar quão severas são essas restrições para as regiões ao largo da costa da Ilha de Santa Catarina/SC e de Rio Grande/RS, este trabalho se propõe a realizar comparações dos espectros direcionais de onda, derivados de imagens do radar presente no satélite Envisat, com dados provenientes do modelo de previsão de ondas WW3 e de ondógrafos.

**PALAVRAS-CHAVE:** ondas, ondógrafo, radar de abertura sintética e WW3.

**ABSTRACT:** Synthetic Aperture Radar on board satellites is an important tool for the monitoring of ocean surface wave fields. However, the generation of the satellite two-dimensional wave spectrum presents limitations associated to the sensor imaging mechanism (Doppler processing) and the wave orbital motion. In order to evaluate how severe are such restrictions for the Santa Catarina Island/SC and Rio Grande/RS coasts, we present in this paper some comparisons of the directional wave spectra from Envisat radar images, against wave model WW3 data and buoy measurements.

**KEYWORDS:** Buoy, synthetic aperture radar, waves, WW3

## 1. INTRODUÇÃO

As ondas oceânicas de superfície, geradas pelo vento, com períodos inferiores a 30 segundos, têm seu comprimento de onda variando de centímetros (ondas capilares/gravidade) a dezenas e centenas de metros (ondas tipo “wind sea” e “swell”) [7], e sua altura de mínúsculas perturbações a dezenas de metros [13]. O conhecimento sobre as ondas de superfície é de fundamental importância para diversas atividades desenvolvidas pelo homem no mar, como a pesca, a navegação, a extração de petróleo, as operações navais militares, o monitoramento e a análise de processos costeiros e praticamente todas as obras de engenharia que envolvam o mar, entre outras.

A partir do lançamento do satélite SEASAT em 1978 pela “National Aeronautics and Space Administration” (NASA), por mais de três décadas os Radares de Abertura Sintética (SAR) a bordo de satélites tem sido utilizados para o imageamento da superfície do oceano. O SAR consiste num sistema de sensoriamento remoto ativo, pois provê sua própria fonte de emissão de radiação na região de microondas do espectro eletromagnético, normalmente as bandas X, C, L e P para os sensores orbitais (Figura 1). Tal sistema ilumina a superfície da Terra e recebe o sinal retroespalhado por essa área, processando-o para sintetizar uma imagem de alta resolução espacial. As altas resoluções de um SAR nas direções ortogonal e de avanço do satélite são conseguidas por tecnologia de sinal “*chirp*” e de síntese de uma grande antena por soma coerente do sinal Doppler de retorno, respectivamente [12]. Por operar na região de microondas e ser um sistema ativo, o SAR possui a vantagem de obter imagens independentemente da condição de iluminação solar, podendo operar de dia e de noite, além de ser pouco afetado por efeitos atmosféricos como a presença de nuvens e chuvas [8].

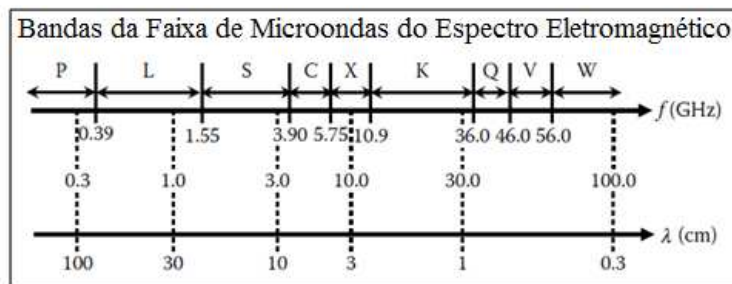


Figura 1. Bandas da região de microondas do espectro eletromagnético. Fonte: Adaptado da ref. [8].

No imageamento do oceano por radar e para ângulos de incidência entre 20° e 60°, embora o retroespalhamento das microondas seja causado principalmente pela rugosidade de pequena escala das ondas capilares e capilares/gravidade (espalhamento Bragg), a modulação do sinal de radar pelas ondas de maior comprimento (“*wind sea*” e “*swell*”) permite que estas possam ser visíveis nas imagens SAR. Algoritmos foram desenvolvidos para, a partir do espectro da imagem SAR, derivar o espectro de ondas da superfície do mar. A Figura 2. mostra um exemplo de imagem SAR e o respectivo espectro direcional de ondas derivado da imagem. Observa-se que esse espectro direcional possui uma ambigüidade de 180° no sentido de propagação das ondas. O processamento SAR atual utiliza a técnica chamada espectro cruzado “*inter look*” de imagens complexas para a determinação do sentido de propagação das ondas [13].

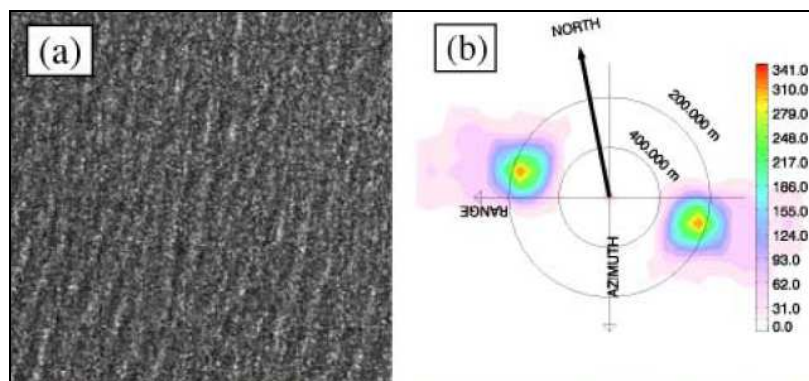


Figura 2. Imagem SAR da superfície do oceano (a) e o seu espectro (b), mostrando a distribuição de energia por comprimento e direção de onda com ambigüidade de 180° no

sentido de propagação. As direções Range e Azimuth se referem às direções ortogonais e de deslocamento do satélite, respectivamente. Fonte: Ref. [4].

A resolução do SAR na direção de vôo do satélite (direção de azimuth) é obtida utilizando-se a variação da frequência do sinal retroespalhado (efeito Doppler), devido aos movimentos relativos da superfície entre a antena e o alvo. Como a superfície do oceano é dinâmica, seus movimentos distorcem essa variação de frequência, degradando a imagem na direção de azimuth [1]. Essa degradação na resolução azimuthal acaba introduzindo uma limitação para o imageamento das ondas que se propagam na mesma direção da plataforma orbital. Essa restrição se traduz em um comprimento de onda mínimo para que as ondas possam ser detectadas, conhecido como comprimento de onda azimuthal de corte (“*azimuth cut-off*”). Assim, para que ondas que se propagam na mesma direção de vôo do satélite possam ser detectadas, seu comprimento deve ser maior que o comprimento de onda azimuthal de corte; caso contrário, não será possível extrair o seu espectro utilizando-se as imagens SAR [12]. Beal et al [2] propuseram uma relação empírica para o cálculo do comprimento de onda azimuthal de corte (em metros) dada por:

$$\lambda_c = K(R/V)\sqrt{H_s} \quad (1)$$

onde  $H_s$  é altura significativa de onda em metros,  $R/V$  é a razão entre a altitude e a velocidade do satélite em segundos e  $K$  é um fator  $\approx 1$  expresso em  $m^{1/2} s^{-1}$ . O comprimento azimuthal de corte é frequentemente modelado como uma função filtro passa-baixa, orientada na direção de azimuth, ajustada a uma distribuição gaussiana de largura  $\lambda_c$  [13]. Como resultado, picos de energia em altas frequências, sobretudo na direção de vôo, são filtrados na construção do espectro.

Essa limitação no imageamento das ondas de superfície do mar pelo SAR, para extração de seu espectro e de seus principais parâmetros como  $H_s$ , período de pico ( $T_p$ ) e direção de pico ( $D_p$ ), constitui a principal motivação desse trabalho. O objetivo é comparar e analisar as informações obtidas pelo SAR com dados provenientes de bóias ondógrafo (direcional e não direcional), e também com resultados de modelo de geração de ondas, ao largo da costa da Ilha de Santa Catarina/SC e de Rio Grande/RS.

## 2. MATERIAIS

Nesse estudo foram usados 49 espectros SAR obtidos pelo satélite Envisat, lançado pela Agência Espacial Européia (ESA) em 22 de março de 2002, cujo radar opera na banda C. Esses produtos foram gerados no modo de operação “*wave mode*” (resolução espacial de 30 metros), que correspondem a medições de pequenas áreas do oceano de dimensões aproximadas 5 km x 10 km, tomadas em intervalos de 100 km durante o vôo [5]. Como o SAR fornece visão espacial do campo de ondas em um breve instante de tempo, o espectro direcional é estimado em função do vetor número de onda ( $k$ ). Para ondas propagando-se livremente no oceano, podemos relacionar o módulo de  $k$  com a frequência ( $\omega$ ) através da relação de dispersão dada por:

$$\omega^2 = gk \tanh(kh) \quad (2)$$

onde  $\omega = 2\pi/T$ ,  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $g$  = aceleração da gravidade e  $h$  = profundidade. Com isso, é possível estimar o valor de  $T_p$  a partir do espectro dado em função de  $k$ . A ref. [6] descreve como são reconstruídas e interpretadas as informações espectrais dos produtos ASAR (Radar de Abertura Sintética Avançado) “*wave mode*”. Os espectros direcionais resultantes mostram a distribuição da densidade de energia do campo de ondas ( $S$ ) em termos de 36 direções

espaçadas em 10°, e 24 intervalos de comprimentos de onda em escala logarítmica de 30 a 800 metros. Basicamente,  $H_s$  é extraída através de:

$$H_s = 4 \left( \sum_{n=0}^{23} \sum_{m=0}^{35} S_{n,m}(k, \theta) dk d\theta \right)^{1/2} \quad (3)$$

onde  $S_{n,m}$  é o espectro SAR de ondas,  $n$  e  $m$  são índices sobre o número de onda  $k$  e a direção

$\theta$ , respectivamente. Os parâmetros  $D_p$  e  $T_p$  foram extraídos diretamente do espectro, a partir da identificação da componente mais energética.

Para comparação, foram utilizados dados obtidos pelo ondógrafo direcional *Datawell Waverider Mark II*, usado durante o Programa de Informação Costeira *on-line* (PIC), conduzido pelo Laboratório de Hidráulica Marítima da Universidade Federal de Santa Catarina, nos anos de 2002 a 2004 [10]. Esse ondógrafo ficou fundeado a cerca de 40 km da ilha de Santa Catarina, na posição de latitude 27°44'S e longitude 048°10'W, numa profundidade de 80 metros. Os parâmetros  $H_s$ ,  $T_p$  e  $D_p$  foram obtidos a partir do espectro direcional de ondas medido pela bóia. Também foram usados os dados de  $H_s$  e  $T_p$  obtidos do ondógrafo não-direcional Watchman 100 instalado na bóia Minuano, integrante do Programa Nacional de Bóias (PNBOIA), que esteve fundeada cerca de 140 km do litoral de Rio Grande (latitude 32°52'S longitude 050°53'W), também no período de 2002 a 2004, numa profundidade aproximada também de 80 metros. A Figura 3 mostra a localização das bóias.

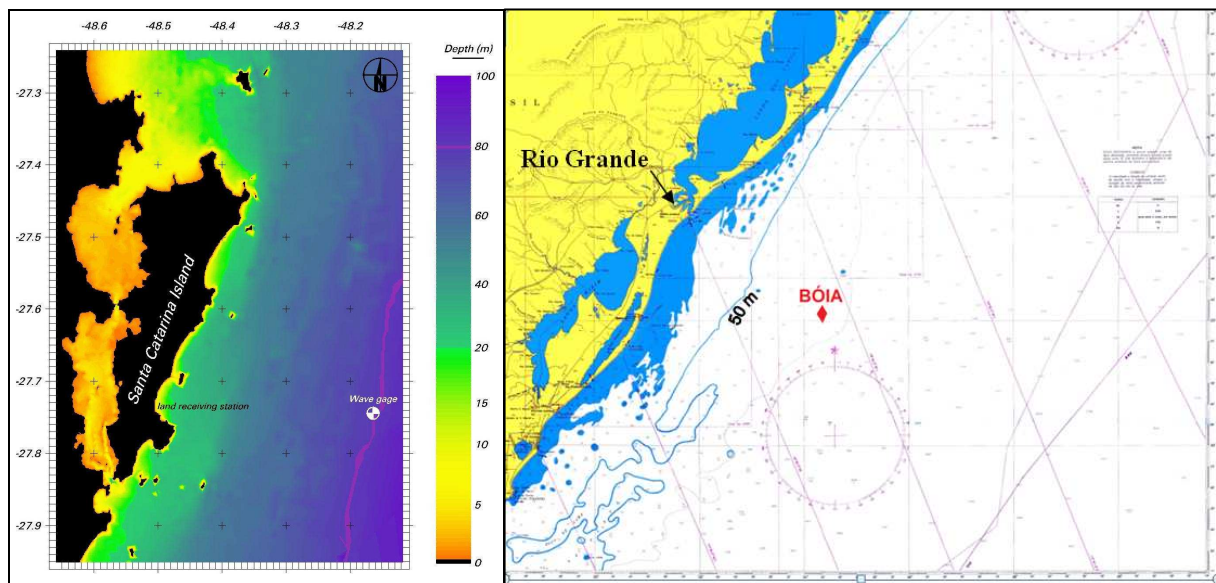


Figura 3. Localização das bóias dotadas de ondógrafo direcional (esquerda) em SC e não-direcional (direita) em Rio Grande. Fonte: Ref [10] (esquerda) e adaptado da ref. [3] (direita).

Dos 49 espectros utilizados, 15 se localizam nas proximidades da Ilha de Santa Catarina no período de fevereiro de 2003 a dezembro 2004, e 34 nas proximidades de Rio Grande, no período de dezembro de 2002 a janeiro de 2004.

Para a região de SC, foram também utilizados resultados do modelo de ondas *Wave Watch 3* (WW3), desenvolvido pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) instalado no Laboratório de Hidráulica Marítima da UFSC [9]. Para a região de Rio Grande,

resultados do WW3 foram obtidos diretamente da NOAA, via Internet e interpolados para a posição dos espectros SAR. Uma descrição do modelo pode ser encontrada na ref. [11].

### 3. MÉTODOS

Inicialmente, dois critérios adotados por Violante-Carvalho et al [14] foram usados para seleção dos espectros SAR a serem utilizados para comparação com as medições *in situ*: a distância entre a posição do ondógrafo e o centro da “*image*” que gerou o espectro SAR deve ser de, no máximo, 100 km e a diferença de tempo entre as aquisições de, no máximo, 90 minutos.

A quantificação da comparação entre os parâmetros de ondas ( $H_s$ ,  $T_p$  e  $D_p$ ) extraídos do SAR e do WW3/bóias está baseada em um conjunto de parâmetros estatísticos. Foram utilizados o viés ( $V$ ), definido como valor médio da diferença entre os resultados do SAR e do WW3/bóias, o erro médio quadrático (RMSE) definido como a raiz quadrada do valor médio do quadrado da diferença entre o SAR e WW3/bóias, o índice de espalhamento (SI) definido como a razão entre o RMSE e o valor médio dos parâmetros WW3/bóias, e a inclinação quadrática média (SS) definida como a raiz quadrada da razão entre a soma dos quadrados das medidas do SAR e a soma dos quadrados dos dados WW3/bóias. Esse último parâmetro, também conhecido como declividade de regressão não tendenciosa, é o resultado de uma análise de regressão na qual nenhum dos dois conjuntos de dados é considerado como “perfeito”, mas que contribuem igualmente para o erro. A situação é ideal para  $S=1$ , se  $SS>1$  os parâmetros SAR superestimam valores grandes (ou subestimam valores pequenos de WW3/bóias), enquanto que ocorre o oposto quando  $SS<1$  [9]. Como a resolução de  $D_p$  (direção e sentido para onde a onda se propaga) do SAR é de  $10^\circ$ , esse parâmetro obtido pela bóia de SC e pelo WW3 foi aproximado para essa resolução, ou seja, para  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ$ , ... ,  $350^\circ$ .

### 4. RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta os parâmetros estatísticos calculados. As comparações para  $H_s$  e  $T_p$  foram realizadas com 49 observações sendo 34 de Rio Grande e 15 de SC. Para  $D_p$  utilizaram-se apenas as 15 observações de SC, na comparação entre o SAR e a bóia, em virtude da bóia de Rio Grande não ser direcional; na comparação SAR x WW3, as 49 observações foram usadas.

Tabela 1 – Parâmetros estatísticos resultantes da comparação dos dados fornecidos pelo SAR com os derivados do modelo WW3 e dos ondógrafos de SC e RS.

Parâmetros	Viés (SAR/Bóia)	Viés (SAR/WW3)	RMSE (SAR/Bóia)	RMSE (SAR/WW3)
<b>H<sub>s</sub></b>	- 0,16 metro	- 0,09 metro	0,66 metro	0,65 metro
<b>T<sub>p</sub></b>	1,48 segundos	2,81 segundos	2,57 segundos	3,68 segundos
<b>D<sub>p</sub></b>	15°	-3°	31°	49°
Parâmetros	SI (SAR/Bóia)	SI (SAR/WW3)	SS (SAR/Bóia)	SS (SAR/WW3)
<b>H<sub>s</sub></b>	0,319	0,326	0,916	0,959
<b>T<sub>p</sub></b>	0,265	0,440	1,148	1,316
<b>D<sub>p</sub></b>	0,105	0,158	1,048	0,989

Pode-se notar um viés negativo para  $H_s$  nas duas comparações. Uma possível explicação para tal pode estar na filtragem das ondas de frequências mais altas que se propagam na direção de vôo, devido ao “*azimuth cut-off*”. Com isso, a quantidade de energia que é somada



na Equação 3 é menor, resultando em uma subestimação de Hs pelo SAR, comparativamente às bóias e ao modelo. Já com relação ao Tp ocorre uma superestimação. Novamente, uma possível explicação pode estar no “corte” das ondas com períodos menores que se propagam na direção azimutal, o que causaria maior predominância de ondas do tipo “swell” no espectro SAR. O RMSE e o SI de Hs e Dp nas comparações obtiveram resultados semelhantes. Resultados mais conclusivos virão com a análise de um número maior de casos.

A Figura 4 mostra o diagrama de dispersão (“scatter plot”) entre os valores de Hs, Tp e Dp, obtidos do SAR, das bóias nos dois locais e do modelo WW3. Observando a comparação de Tp, notam-se alguns pontos bastante discrepantes, o que eleva os valores de V (subestimação do SAR), RMSE e SS.

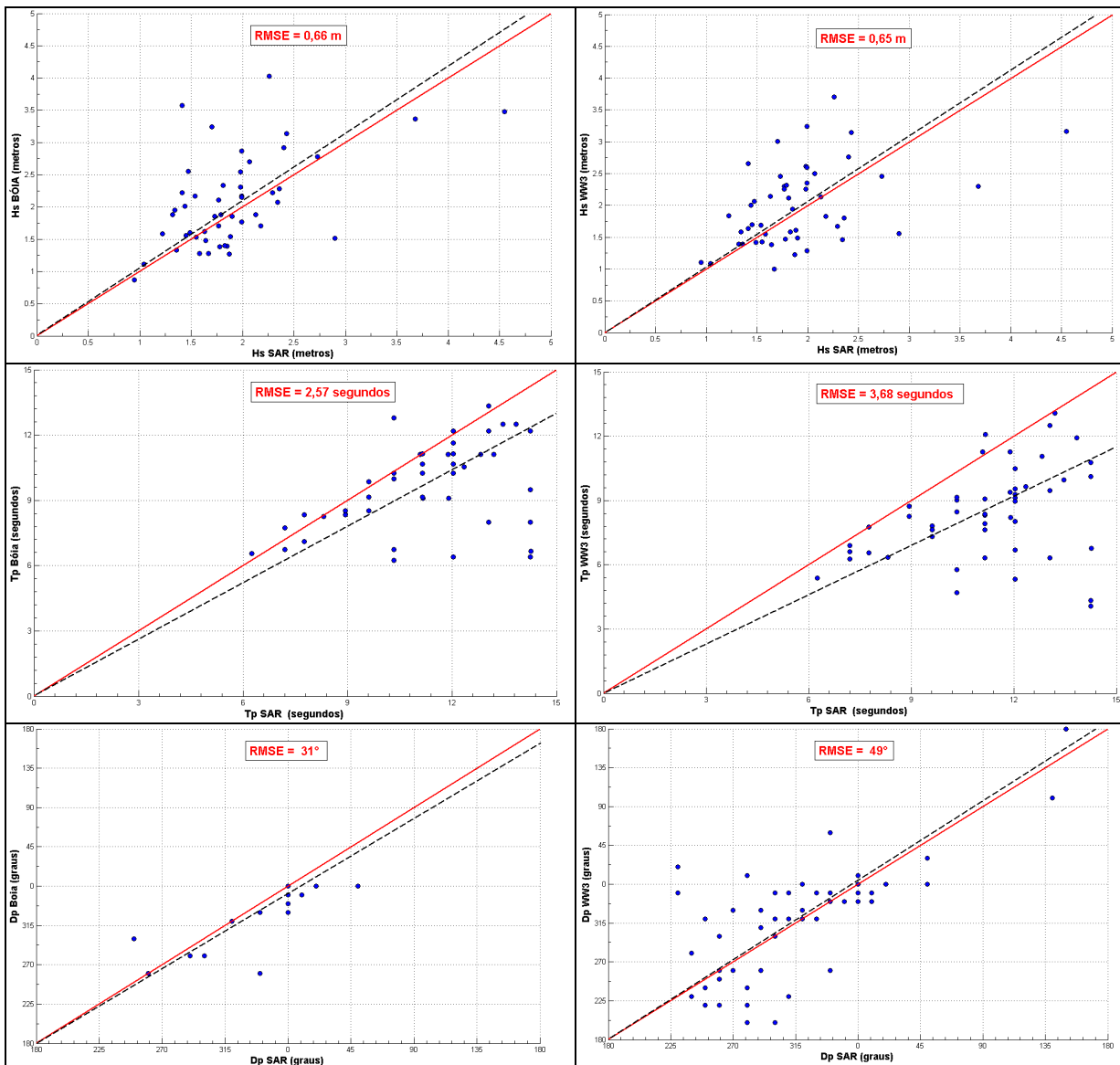


Figura 4. Diagramas de dispersão dos parâmetros Hs (parte superior), Tp (parte central) e Dp (parte inferior) obtidos entre SAR e as bóias (coluna esquerda) e entre o SAR e o modelo WW3 (coluna direita), indicando o RMSE calculado. A linha contínua em vermelho representa a inclinação 45° e a tracejada na cor preta, a inclinação quadrática média passando pela origem.

A causa possível para a presença desses pontos discrepantes pode estar na presença simultânea de vagas (“wind sea”) e ondulações (“swell”) – os chamados mares “bi-modais”

– com as vagas propagando-se na direção azimutal. Observando-se os espectros SAR e do ondógrafo de SC no dia 5 de agosto de 2003, pouco antes das 13 horas (Figura 5), é possível verificar que o pico medido pela bóia, assinalado por uma reta vermelha tracejada, encontra-se na frequência de 0,15 Hz (período 6,67 segundos), o que equivale a um comprimento de onda de 70 metros utilizando a relação de dispersão (Equação 2); a direção de propagação calculada para esse pico foi de  $255^\circ/075^\circ$ . Já o pico medido pelo SAR possui  $\lambda=295$  metros (período=14,15 segundos / frequência 0,07 Hz) e propagação ao longo da direção  $340^\circ/160^\circ$ . Com isso, podemos visualizar que o pico medido pelo SAR encontra-se assinalado no espectro do ondógrafo por intermédio de uma linha tracejada verde, região de baixa frequência que caracteriza ondas do tipo “swell”. A direção de propagação calculada para esse pico foi de  $340^\circ/160^\circ$ , coincidindo com o pico obtido no espectro SAR.

Inserindo o pico obtido pelo ondógrafo no espectro SAR (círculo preto), nota-se que essa é uma região espectral filtrada pelo “azimuth cut-off”. O valor de “cut-off” determinado pelo processamento foi de 195 metros na direção de azimute ( $013^\circ/193^\circ$ ), que é indicada pela seta cinza. É possível visualizar que ondas tipo “wind sea” (alta frequência e pequeno  $\lambda$ ), como é o caso do pico registrado pelo ondógrafo, só poderiam ser identificadas caso se propagassem em uma direção mais próxima a de range (ortogonal à direção de vôo do satélite), nesse caso  $103^\circ/283^\circ$

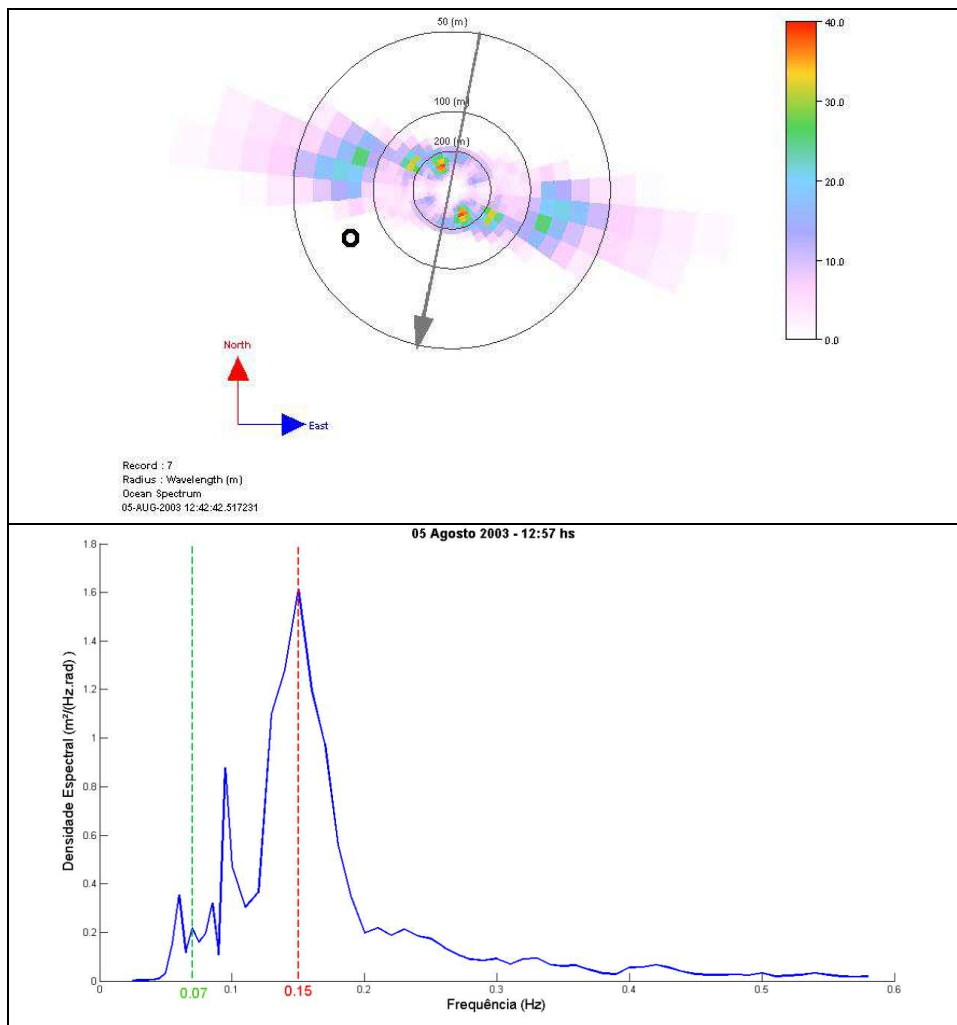


Figura 5. Espectros SAR (parte superior) e da bóia de SC (parte inferior) em 05 de agosto de 2003. O espectro SAR contém a indicação (assinalada por um círculo preto) de onde estaria o pico registrado pela bóia (linha tracejada vermelha em 0,15 Hz na parte inferior),

alem da direção de azimute (seta cinza indicando o sentido de deslocamento do satélite). No espectro da bóia, encontra-se também a indicação do pico registrado pelo SAR (linha tracejada verde na frequência 0,07 Hz).

Com o intuito de evitar, nos casos de mares com espectros bi-modais, a comparação de ondas de “swell” com vagas “wind sea” que se propagam na direção de azimute do satélite, foi usado um critério de selecionar-se apenas os dados de bóia cujo período de pico sejam no máximo 15% diferentes do Tp derivado do SAR. Com isso, 12 datas foram retiradas da comparação, totalizando 37 das 49 originais. Não foi aplicado esse critério para os dados de Tp originados do modelo WW3 a fim de não reduzir mais a quantidade de pontos, o que poderá ser feito em trabalhos futuros.

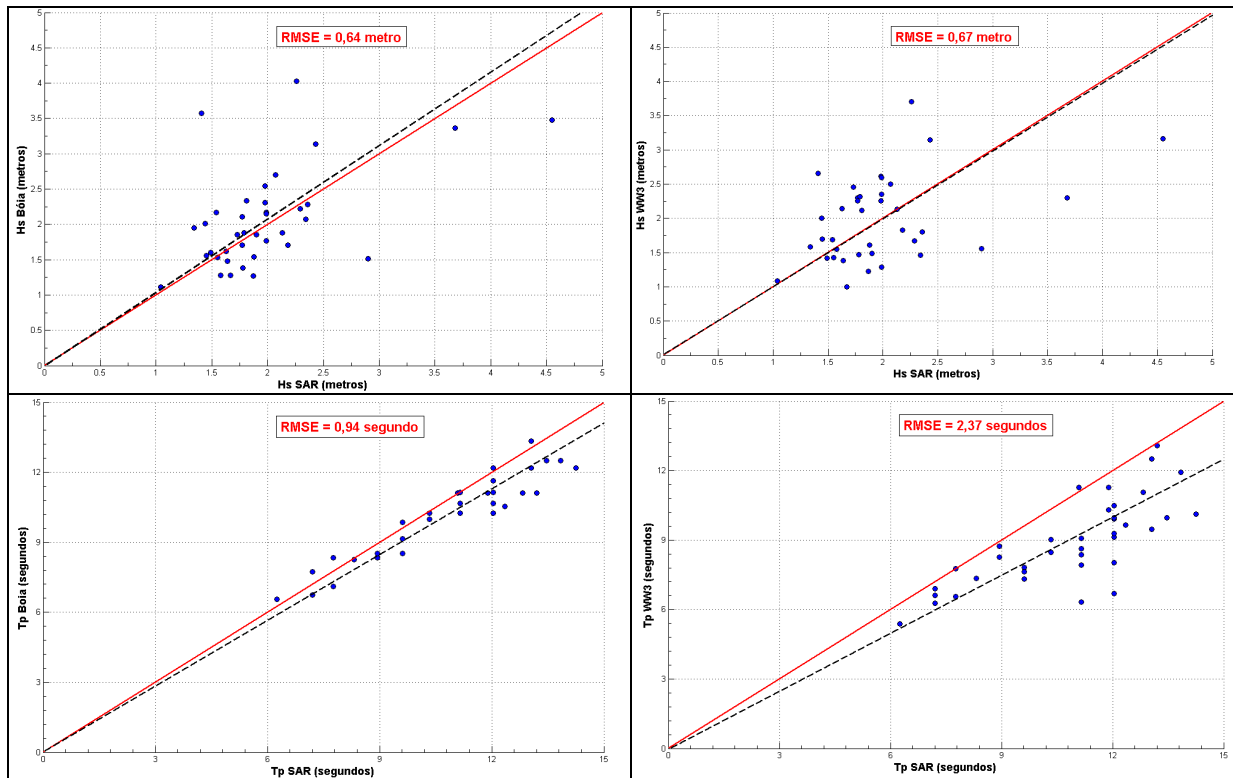
A Tabela 2 e a Figura 6 mostram a nova comparação adotando o critério descrito acima:

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos resultantes da comparação dos dados fornecidos pelo SAR com os derivados do modelo WW3 dos ondógrafos em SC e RS, desprezando-se as 12 datas cujo Tp obtido de medições de bóia seja maior ou menor do que 15% do Tp obtido pelo SAR.

Parâmetros	Viés (SAR/Bóia)	Viés (SAR/WW3)	RMSE (SAR/Bóia)	RMSE (SAR/WW3)
<b>Hs</b>	- 0,09 metro	- 0,002 metro	0,64 metro	0,67 metro
<b>Tp</b>	0,62 segundo	1,94 segundos	0,94 segundo	2,37 segundos
<b>Dp</b>	8°	-8°	23°	40°

Parâmetros	SI (SAR/Bóia)	SI (SAR/WW3)	SS (SAR/Bóia)	SS (SAR/WW3)
<b>Hs</b>	0,310	0,338	0,954	1,002
<b>Tp</b>	0,092	0,267	1,065	1,215
<b>Dp</b>	0,070	0,126	1,028	0,975





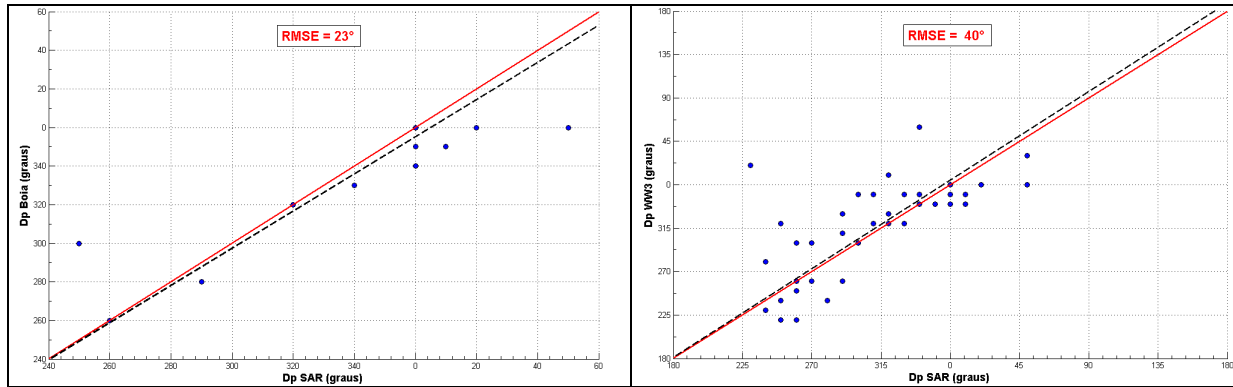


Figura 6. Diagramas de dispersão após desprezar as 12 datas cujo  $T_p$  obtido de medições de bóia seja maior ou menor do que 15% do  $T_p$  obtido pelo SAR (Ver legenda da Figura 5).

A retirada das datas melhorou consideravelmente os parâmetros estatísticos, sobretudo o Viés de Hs e  $T_p$  e o RMSE de  $T_p$  e  $D_p$ .

A SS também melhorou, aproximando-se da situação ideal ( $SS=1$ ) em todas as comparações, exceto a da  $D_p$  entre SAR e WW3, que permaneceu praticamente inalterada. Já o SI diminuiu nas seis comparações, sobretudo para  $T_p$ , o que indica que a retirada das datas reduziu o espalhamento causado pelas comparações errôneas.

Com relação às duas comparações de  $D_p$  entre o SAR e a bóia, como o ondógrafo de Rio Grande não é direcional, a pequena quantidade de pontos (15 e 12) acaba por prejudicar a análise, não permitindo conclusões mais precisas a respeito desse parâmetro entre as fontes de dados.

## 5. CONCLUSÕES

Embora as análises e resultados apresentados acima sejam preliminares, podemos verificar uma coerência razoável entre os dados, medidos *in situ* pelos ondógrafos, resultados do modelo WW3 e aqueles obtidos por processamento digital das imagens SAR. Nota-se, entretanto, para algumas situações, discrepâncias mais acentuadas em relação ao  $T_p$ . Este fato confirma que certos cuidados devem ser tomados para o emprego do SAR a fim de evitar erros de avaliação nas informações obtidas, sobretudo no que concerne a direção do imageamento em relação à direção de propagação das ondas. Espera-se que após uma análise mais detalhada, possa-se obter um diagnóstico mais preciso das causas dessas discrepâncias em função das condições ambientais, incluindo situações com espectros bi-modais, de direção de propagação em relação ao imageamento radar, bem como avaliar as situações onde o emprego do SAR para extração do espectro de ondas seja mais adequado.

Mesmo assim, foi possível verificar uma boa coerência em relação aos três parâmetros (Hs,  $T_p$  e  $D_p$ ) ficando este último prejudicado em sua análise devido ao pequeno número de pontos disponíveis derivados das bóias.

Como indicado na literatura, o monitoramento do campo de agitação marinha para grandes regiões deve ser realizado pelo uso conjunto dos dados SAR, complementados na região espectral de altas frequências por dados provenientes de ondógrafos ou modelos. Embora os espectros SAR contenham a limitação de “*azimuth cut-off*”, quando complementados pelas informações de modelos ou ondógrafos (onde existentes), eles são importantes ferramentas para monitoramentos em escala sinótica do campo de onda em escala de bacia oceânica, ou escala global. Para a propagação de sistemas “*swell*”, a restrição azimutal é bem menos acentuada, o que faz com que os dados SAR sejam boas ferramentas para o monitoramento desse tipo de onda.

## 6. AGRADECIMENTO

O autor<sup>1</sup> agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico Pesquisa (CNPq) pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

1. ALPERS, W. R.; BRUENING, C. On the Relative Importance of Motion-Related Contributions to the SAR Imaging Mechanism of Ocean Surface Waves. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. GE-24, n. 6, p. 873-885, 1986.
2. BEAL, R. C.; TILLEY, D. G.; MONALDO, F. M. Large-and Small-Scale Spatial Evolution of Digitally Processed Ocean Wave Spectra from SEASAT Synthetic Aperture Radar. **Journal of Geophysical Research**, v. 88, n. C3. p. 1761-1778, 1983.
3. CHM – CENTRO DE HIDROGRAFIA DA MARINHA. **Cartas Náuticas - Cartas Digitais**. Disponível em <<http://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>>. Acesso em: 15 abr. 2010.
4. COLLARD, F.; ARDHUIN, F.; CHAPRON, B. Extraction of Coastal Ocean Wave Fields from SAR Images. **IEEE Journal of Oceanic Engineering**, v. 30, n. 3, p. 526-533, 2005.
5. ESA - Earthnet Online. Disponível em: <<http://envisat.esa.int/handbooks/asar/toc.htm>>. Acesso em: 6 set. 2010.
6. ESA - ENVISAT ASAR Wave Mode Product Description and Reconstruction Procedure. Disponível em <[http://envisat.esa.int/pub/ESA\\_DOC/ENVISAT/ASAR/envi59.pdf](http://envisat.esa.int/pub/ESA_DOC/ENVISAT/ASAR/envi59.pdf)>. Acesso em 5 out. 2010.
7. HOLTHUIJSEN, L. H. **Waves in Oceanic and Coastal Waters**. Cambridge University Press, Reprinted 2008. 387 p. ISBN (978-0-521-86028).
8. LEE, J.; POTTIER, E. **Polarimetric Radar Imaging, From Basics to Applications**. CRC Press Taylor & Francis Group, 2009, 398 p. ISBN (978-1-4200-5497-2).
9. MELO, E.; HAMMES, G.R.; FRANCO, D.; ROMEU, M.A.R. 2008. Avaliação de desempenho do modelo WW3 em Santa Catarina. **Anais do III Seminário e Workshop em Engenharia Oceânica, FURG**, Rio Grande, pp 20, (Publicado em CD, sem paginação).
10. MELO, E.; PIMENTA, F. M.; MENDES, D. A. R.; HAMMES, G. R.; ARAUJO, C. E. S.; FRANCO, D.; ALVES, J. H. G. M.; BARLETTA, R. C.; SOUTO, A. M.; CASTELÃO, G.; PEREIRA, N. C.; BRANCO, F. V. A Real Time, On-Line Coastal Information Program in Brazil. **Proceedings of the Sixth International Conference on Coastal and Port Engineering in Developing Countries**, Sri Lanka, paper No. 104, pp-14, 2003.

11. NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration. Disponível em: <http://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>. Acesso em: 6 set. 2010.
12. RANEY, R. K.; VACHON, P. W. Synthetic Aperture Radar Imaging of Ocean Waves from an Airborne Platform - Focus and Tracking Issues. **Journal of Geophysical Research** - Oceans, v. 93, n.C10, p.12475-12486, 1988.
13. VACHON, P. W.; MONALDO, F. M.; HOLT, B.; LEHNER, S. Ocean Surface Waves and Spectra. **Synthetic Aperture Radar Marine User's Manual**, National Oceanic and Atmospheric Administration, 2004, chapter 5, p. 139-170. Disponível em: <[http://www.sarusersmanual.com/ManualPDF/NOAASARManual\\_CH05\\_pg139-170.pdf](http://www.sarusersmanual.com/ManualPDF/NOAASARManual_CH05_pg139-170.pdf)>. Acesso em: 25 fev. 2010.
14. VIOLANTE-CARVALHO, N.; ROBINSON, I. S.; SCHULZ-STELLENFLETH J. Assessment of ERS synthetic aperture radar wave spectra retrieved from the Max - Planck - Institut (MPI) scheme through intercomparisons of 1 year of directional buoy measurements. **Journal of Geophysical Research**, v. 110, n. C07019, 2005.