

Determinação de Campos de Refração de Ondas a partir de Imagens SAR/RADARSAT

JOÃO CARLOS STRAUCH¹
GLAUBER ACUNHA GONÇALVES¹

¹FURG – Fundação Universidade Federal do Rio Grande
Caixa Postal 474 – 96201-900 – Rio Grande - RS, Brasil
strauch@vetorialnet.com.br
glauber@calvin.ocfis.furg.br

Abstract This work presents a methodology for the determination of wave refraction using SAR images. The wave parameters were compared with data of a directional waverider located in the imaging area. The methodology involves the division of the oceanic area in imaggettes and the application of the Fast Fourier Transform (FFT) in order to determine points of maximum spectral energy associated to the length and direction of the waves. The results reveal high correlation between image and waverider data and establish a vectorial field showing the refraction of the waves in the area.

Keywords: SAR, ocean waves

1 Introdução

Este trabalho foi realizado a partir da experiência dos autores que, utilizando instrumentação e metodologias diversas, estudam o mesmo ambiente físico. Com base nos recursos disponíveis no Departamento de Física da Fundação Universidade do Rio Grande pode-se investigar a mecânica ondulatória da região adjacente aos Molhes da Barra do Rio Grande, no RS, com o uso do Sensoriamento Remoto.

Num primeiro projeto procedeu-se com a validação de uma metodologia para a utilização de imagens SAR no estudo do ambiente marinho costeiro. Resultados promissores foram obtidos, especialmente em relação a caracterização de ondas superficiais, conforme Gonçalves (1999). Esse trabalho foi patrocinado pelo programa de validação dos dados RADARSAT GlobeSARII, Paradela (1997).

O mérito maior do estudo foi a possibilidade de comparação dos resultados do processamento das imagens com dados de um ondógrafo direcional, localizado num ponto contido na cena RADARSAT.

Dois convênios subsidiaram os dados utilizados no trabalho. O primeiro com o Instituto de Pesquisas Hidroviárias - INPH e o segundo com o Centro Canadense de Sensoriamento Remoto - CCRS, através do programa GlobeSAR II.

2 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é definir uma metodologia de processamento das imagens SAR com a finalidade de determinar comprimento de onda e direção de propagação de ondas na superfície do oceano e, por conseqüência, dos campos de refração de ondas nas áreas costeiras.

No atendimento a este objetivo, necessariamente é atingida a otimização do processamento das imagens, permitindo o adequado uso dos recursos computacionais disponíveis, geralmente plataformas PC/Windows®, com limitada capacidade de memória.

O sistema para solução do problema foi desenvolvido em ambiente computacional amigável, com recursos gráficos interativos e de simples operação. Rotinas foram implementadas e produtos gráficos de qualidade e de fácil interpretação foram gerados.

3 Dados do Ondógrafo

Um ondógrafo direcional tipo WaveRider, apresentado na **figura 1**, construído pela firma holandesa Datawell, foi fundeado na batimétrica de 15 m, em novembro de 1996, próximo ao molhe leste da Barra do Porto Marítimo do Rio Grande - RS, na época em obra de restauração do talude.



Figura 1 – Detalhes do fundeio do ondógrafo e do instrumento

A obra foi realizada pela Companhia Brasileira de Projetos e Obras - CBPO, com fiscalização e financiamento do Ministério dos Transportes. O projeto foi realizado pelo Instituto de Pesquisas Hidroviárias.

A **figura 2** indica a posição do ondógrafo sobre a imagem RADARSAT utilizada nesse trabalho, localizado na coordenada geográfica $30^{\circ} 10' S$, $51^{\circ} 59' W$. Na área apresentada estão localizados: (1) o único porto marítimo do estado do Rio Grande do Sul, hoje alvo de grandes investimentos em função da centralização de cargas do Mercosul; (2) a sede do 5º Distrito Naval da Marinha do Brasil; (3) o maior terminal de containers do sul do Brasil; (4) a desembocadura da Lagoa dos Patos, região estuarina de fundamental importância econômica e ambiental do estado; (5) a maior estrutura hidráulica costeira do Mundo, os molhes da Barra do Rio Grande, com aproximadamente 4 km de extensão e os núcleos urbanos dos municípios de (6) Rio Grande, (7) Pelotas e (8) São José do Norte.

Os dados do ondógrafo são transmitidos da bóia instalada no oceano, por ondas de rádio-frequência, para uma estação receptora instalada nas dependências do Departamento de Portos - Ministério dos Transportes. O sistema registra 20 minutos de dados com frequência de 1 Hz a cada 3 horas, ou a cada 30 minutos no caso estado do mar alterado, caracterizado por alturas significativas superiores a 2 m.

Na **figura 3** estão representados o registro das ondas individuais e seu respectivo espectro direcional bidimensional, segundo medidas efetuadas no dia 29 de abril de 1997 às 5:30 horas,

no momento da passagem do satélite sobre o local, processados por um software desenvolvido por Strauch (1997).

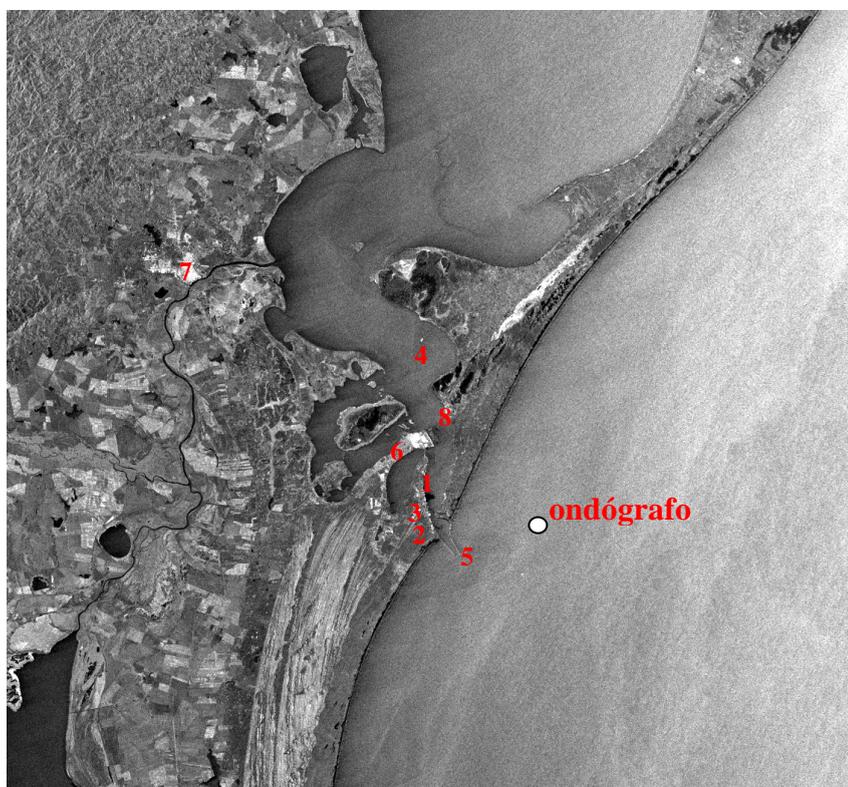


Figura 2 – A imagem RADARSAT e o local do fundeio do ondógrafo

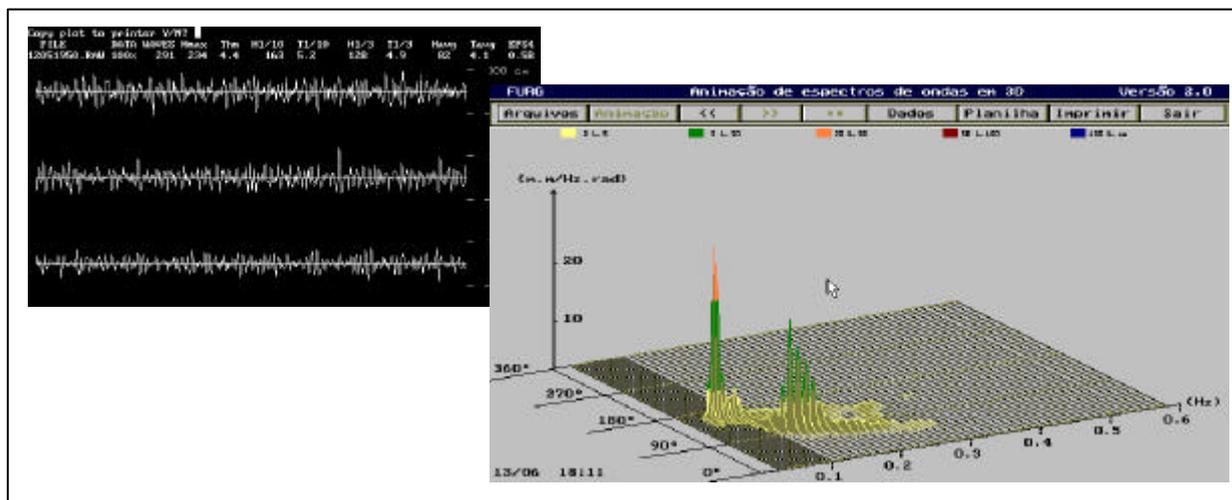


Figura 3 – Registro original do ondógrafo e respectivo espectro – 29/04/1997 – 5:30 horal local

4 Processamento Digital das Imagens SAR/RADARSAT

Imagens provenientes de sensores ativos que operam na faixa espectral das microondas, conhecidos como Radares de Abertura Sintética (SAR), ocupam atualmente importante fatia do

mercado mundial de sensoriamento remoto e sua utilização mostra-se cada vez mais genérica na medida em que altas resoluções espaciais e temporais são obtidas e a qualidade radiométrica se aprimora, como é possível se observar em relação ao RADARSAT. Maiores detalhes acerca do imageamento com esta tecnologia podem ser obtidos em Ulaby(1985), Lichtenegger (1988) e Gonçalves (1996).

Imagens da superfície do mar constituem crítico caso para interpretação, uma vez que as características de geração das mesmas são complexas, em função do constante estado de agitação das águas. O conhecimento detalhado desses processos pode ser visto em Nilsson (1995) e Gonçalves (1996).

Sendo a superfície do oceano um refletor especular da radiação microondas, é fundamental a existência de ondas oceânicas capilares, cujo comprimento de onda é da mesma ordem de grandeza do comprimento de onda da radiação eletromagnética utilizada no imageamento, para que haja resposta na direção da antena receptora do sinal, instalada no satélite. Tais ondas são predominantemente moduladas pelos ventos na superfície do mar. Assim a imagem SAR é contundentemente influenciada pela interação do oceano com a atmosfera.

Ondas gravitacionais de superfície, de maior comprimento de onda e período, são registradas na imagem devido a três principais processos: a orientação do vetor normal a superfície, o movimento das ondas e a modulação das ondas capilares. A **figura 4** ilustra este processo e, no detalhe, a interferência devido a reflexão nas ondas capilares, que determina a intensidade do sinal de retorno. É importante ainda perceber que somente serão apresentadas as ondas cuja direção de propagação não coincidir com a direção do movimento orbital do satélite.

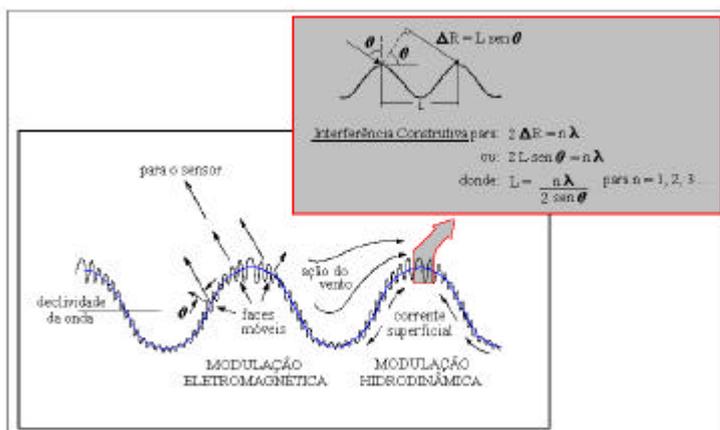


Figura 4 – Processo de modulação do sinal microondas pelas ondas oceânicas

A imagem RADARSAT utilizada neste trabalho, **figura 2**, foi adquirida no modo S2 (Standard 2), ângulo de incidência de 24° a 31°, e abrange uma área nominal de 100 x 100 Km, com uma resolução de aproximadamente 20 m. Após processada apresentou sinal bem definido de um padrão de ondas oceânicas superficiais, compatível com os registros efetuados pelo ondógrafo, conforme pode ser visto no detalhe da **figura 5**.

A metodologia de processamento da imagem SAR utilizada pode ser dividida, em três etapas: pré-processamento, calibração/georreferência e pós-processamento.

O pré-processamento, basicamente, é a integração dos dados distribuídos pela agência que adquire o sinal original do satélite a um ambiente operacional de processamento de imagens. Segmentos de informações como dados orbitais e parâmetros de calibração radiométrica são gerados

Procede-se, então, o cálculo da secção de choque RADAR (σ^0), em decibéis e o escalonamento em 256 tons de cinza, considerando um ajuste de equalização de histograma. A imagem em 8 bits pode ser então geometricamente corrigida e georreferenciada pelos pontos de controle do modelo orbital.

Esse produto passa para o pós-processamento, que consiste na geração de um mosaico de sub-imagens de 256x256 pontos, correspondendo a uma área no terreno de aproximadamente 3200 x 3200 m, das quais aquelas que apresentam a área continental são descartadas. A **figura 5** ilustra o processo. Segue-se a análise espectral automática de cada sub-imagem.

O tamanho da janela foi otimizado a partir de diversos testes. Se por um lado o maior número de janelas possível é desejado, por outro, janelas muito reduzidas não identificam padrões de ondas que permitam sua caracterização. O tamanho é tomado como potência de 2 a fim de facilitar a aplicação da Transformada Rápida de Fourier (FFT).

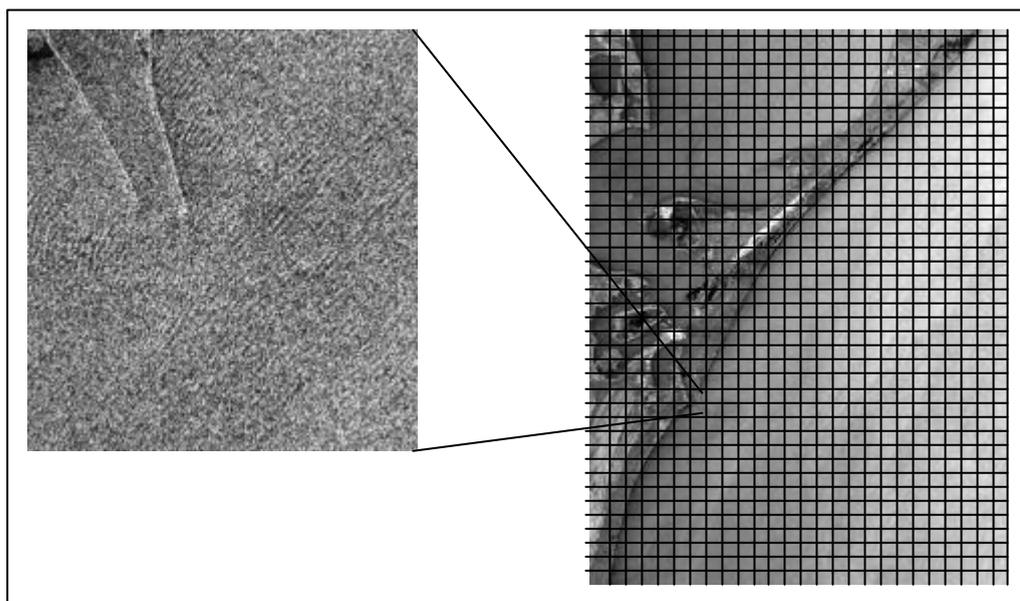


Figura 5 – Detalhe do janelamento efetuado para análise espectral localizada

Na análise espectral são identificados os pontos de máximos de potência espectral após a aplicação de um filtro passa-alta com frequência de corte determinada em função das características normais das ondas oceânicas. As coordenadas, em frequência espacial, deste pico indicam a direção do padrão textural predominante na imagem e seu espaçamento. No caso em questão, estes valores correspondem, respectivamente, à direção do campo de ondas e o comprimento de onda.

A **figura 6** indica este procedimento, onde para efeito de visualização do campo de ondas, aplicou-se um filtro passa faixa para o realce da frequência predominante indicada no espectro.

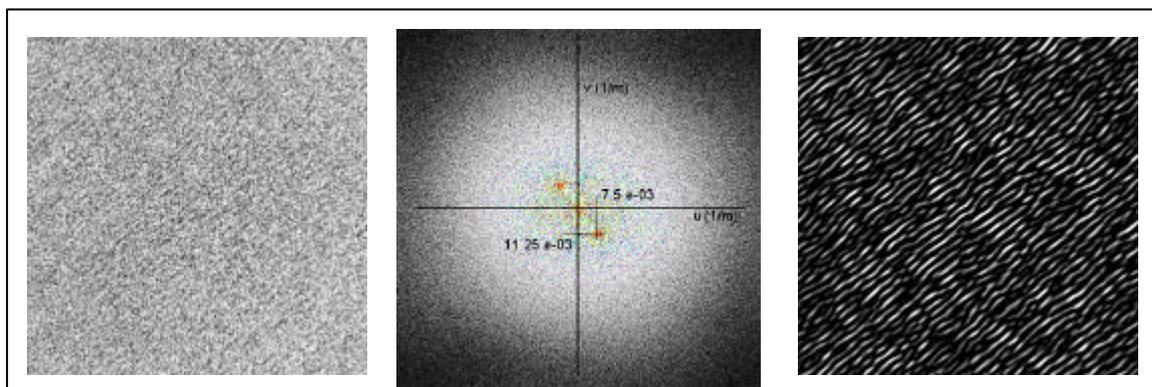


Figura 6 – Sub-imagem original, seu espectro espacial com identificação do pico de energia e sub-imagem filtrada para realce do campo de ondas

5 Resultados e Análise

A comparação dos resultados da análise espectral da imagem e dos dados do ondógrafo, conforme **figuras 6 e 3**, respectivamente, indicam a alta concordância nos valores de comprimento de onda e direção de propagação. O pico de energia do espectro da imagem está num ponto que sugere a presença de um padrão com comprimento de onda de 160 m e direção de propagação de 147° em relação ao norte. O mesmo ponto, no espectro dos dados do ondógrafo, indica um regime de ondas do tipo *swell* com período de pico 11,9 s e direção 150° . A partir da aplicação de equações básicas da mecânica ondulatória é possível extrair a informação do comprimento de onda correspondente a esse período, o que resulta no valor 150 m.

Este resultado mostra a validade das medidas efetuadas sobre a imagem para definição dos parâmetros comprimento e direção das ondas na superfície do mar. Importante observar que o espectro da imagem é espacial, correspondendo a informação de uma região de 3200×3200 m tomada no instante específico da passagem do satélite e o espectro dos dados do ondógrafo é temporal, correspondendo a informação da elevação e direção de ondas em um ponto específico, medidos ao longo de 20 minutos.

A aplicação iterativa da metodologia indicada para todas as sub-imagens gera uma matriz com valores de comprimento de onda e outra de direção, que representados graficamente na forma de um vetor locado no centro das células permitem a identificação do padrão de ondas na região.

Objetivamente, o módulo do vetor indica o comprimento de onda e a sua direção a correspondente das ondas. Na **figura 7a** as cores da imagem também estão relacionadas à variabilidade dos comprimentos de onda. Percebe-se que esses diminuem com a aproximação da costa, como esperado.

Em relação a direção das ondas não observa-se refração significativa, pelo fato do ângulo de aproximação das ondas ao largo ser perpendicular a linha de costa e, nesta região, à batimetria. Esse resultado concorda com modelo matemático de refração de ondas para essa região, como em Pimenta (1999). Para outras regiões da costa brasileira, com contornos batimétricos mais

irregulares, a metodologia identificará pontos de convergência e divergência das ondas permitindo estudos de erosão e deposição de sedimentos.

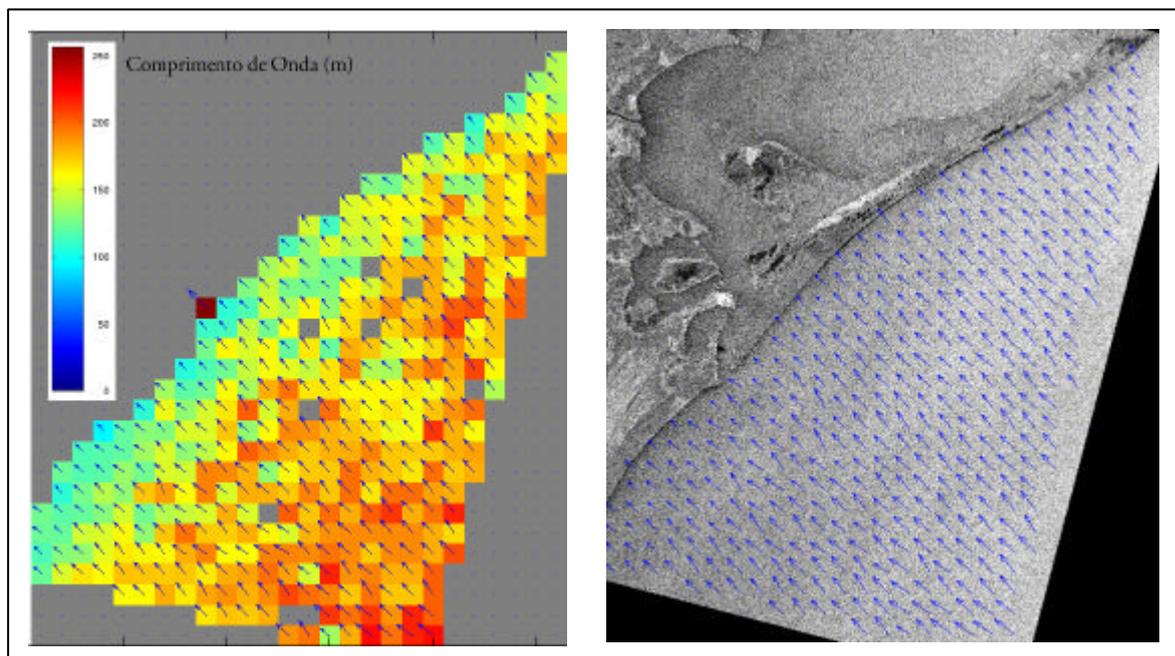


Figura 7 – Campo de refração de ondas para a região em estudo a) mapa de cores b) sobreposto a imagem

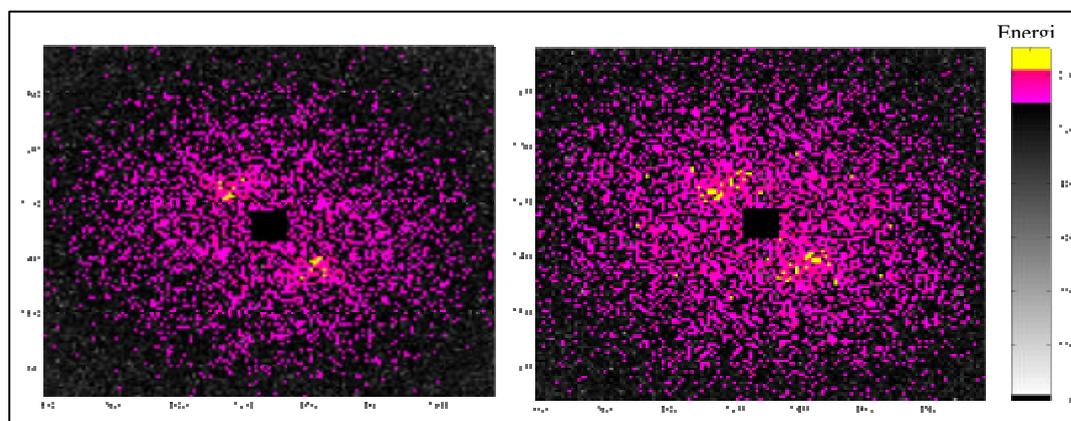


Figura 8 – a) espectro com energia concentrada b) espectro com espalhamento angular acentuado

Na maioria das janelas, o máximo de energia espectral está concentrado numa região bem definida, como no caso representado na **figura 8a**. Em poucas janelas, como as marcadas em cinza na **figura 7a**, ocorre de a energia espectral apresentar um espalhamento angular significativo, **figura 8b**. Desta forma a identificação pelo pico pode resultar em valores de parâmetros de onda não adequados.

Uma análise de variância nos valores encontrados para comprimento de onda e direção indica a presença desses elementos espúrios, que são recalculados com base numa interpolação linear dos elementos vizinhos. A **figura 7b** apresenta o resultado final sobreposto a imagem.

6 Conclusões

A metodologia desenvolvida para determinação dos campos de refração de ondas a partir de imagens SAR provou ser eficaz. Os resultados alcançados para o caso estudado, sobretudo, são coerentes quando confrontados com as medidas *in situ* e com modelos matemáticos.

Importante ressaltar que as condições em que se procedeu ao imageamento foram excelentes, no que se refere ao ângulo de incidência e polarização da radiação microondas, direção das ondas e condições de vento local.

O campo vetorial obtido não apontou concentração e dispersão das ondas em função das características do estado do mar e da batimetria local no instante de tomada da imagem.

Resultados mais precisos poderão ser obtidos na medida em que a identificação da área de máxima energia espectral das ondas seja feita com base na localização do centro de energia e não somente pelo pico.

Referências

- Gonçalves, G.A.; Garcia, C.A.E. Use of SAR RADARSAT Images to Identify Oceanographic Features of the South Atlantic Continental Shelf. In: GLOBESAR-2 Final Symposium, Buenos Aires, May 17-20, 1999. **Proceedings**, pp. 466-472.
- Gonçalves, G.A. O Processamento de Imagens SAR na Caracterização de Feições Oceanográficas. Dissertação de Mestrado. Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, UFRGS. Porto Alegre, 1996. 155pp.
- Lichtenegger, J.; Dallemand, J.F. Principles of RADAR Imagery - Lecture Notes. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 1988. 42pp.
- Nilsson, C.S.; Tildesley, P.C. Imaging of Oceanic Features by ERS-1 SAR. *J.Geophys.Res.*, 100, 953-967, 1995.
- Paradela, W.R.; Krug, T.; Landry, R.; Pietsch, R.W. GLOBESAR-2: O Programa de Avaliação de dados do RADARSAT nas Geociências. *Revista Brasileira de Geociências* 27(4):403-406, 1997.
- Pimenta, F.M.. Caracterização dos Regimes de Refração de Onda ao Longo da Zona Costeira do RS. Monografia de Graduação em Oceanologia. FURG. Rio Grande, 1999. 66pp.
- Strauch, J.C.; Feris, R.; Bicho, A. Animação de Espectros de Ondas em 3D. In: II Seminário Sobre Ondas e Marés. Instituto de Estudos do Mar Almirante Paulo Moreira, Arraial do Cabo-RJ, Maio 12-16, 1997.
- Ulaby, F.T.; Moore, R.K.; Fung, A.K. *Microwave Remote Sensing*. Addison-Wesley Publishing Co., 1997. 562 pp.