

Estimativa do campo de velocidade do vento marinho de alta resolução por meio de imagem SAR

Mírcea dos Santos Claro¹
João Antonio Lorenzetti¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{mircea, loren}@itid.inpe.br

Abstract. The knowledge of ocean surface wind is important for oceanographic and meteorological studies and practical applications. Although the wind field can be derived by the scatterometers, the spatial resolution of such data (25 km) is not adequate for applications over the coastal ocean. High resolution wind data (500 – 1000 m) can be extracted from SAR images. This is possible because radar backscatter signal, after calibration into sigma-naught values, can be related to wind speed. In this context, the objective of this study is to determine the high spatial resolution (~1 km) wind-speed field, 10 m above the sea surface, from sigma-naught values extracted from SAR images. The final accuracy of this procedure will be evaluated after we process a set of ASAR images by comparing the ASAR winds to wind speed measurements from the QuickSCAT scatterometer. The results here presented show wind speeds varying from 0 to 15 m/s in the study region and a correlation coefficient against QuikSCAT data of 0.6204.

Palavras-chave: synthetic aperture radar, sigma-naught, wind intensity, radar de abertura sintética, sigma-zero, velocidade do vento.

1. Introdução

O conhecimento do comportamento do campo de vento na superfície dos oceanos é muito importante para estudos e aplicações oceanográficas e meteorológicas. O vento é o principal forçante de alguns processos dinâmicos e termodinâmicos que acontecem na camada superior dos oceanos, como as correntes superficiais e os processos de interação oceano-atmosfera (Du et al., 2002). Assim, o vento de superfície é um parâmetro fundamental no forçamento de modelos de circulação oceânica, de modelos acoplados oceano-atmosfera e de previsão de ondas.

A velocidade do vento nos oceanos pode ser obtida por meio de medidas *in situ*, por modelos atmosféricos de previsão, por sensores orbitais de microondas como o radar escaterômetro ou radares de abertura sintética (SAR). O retroespalhamento do sinal emitido pelo SAR, depois de calibrado em valores de σ^0 , pode ser relacionado com a magnitude do vento e a orientação do vento em relação à direção de imageamento radar. Por isso, juntamente com a sua alta resolução espacial (dezenas de metros) e ampla faixa de imageamento (centenas de quilômetros), os radares de abertura sintética oferecem uma oportunidade única de derivar campos de velocidade do vento de alta resolução, inclusive em regiões costeiras (Horstmann et al., 2000). A extração do campo de velocidade do vento a partir de imagens SAR é possível porque com o aumento da velocidade do vento na superfície marinha, ocorre o aumento da sua rugosidade nas escalas espaciais de ondas capilares ou de gravidade curtas, responsáveis pelo retroespalhamento radar, processo denominado de ressonância Bragg. Ainda, o sinal restroespalhado é máximo quando o vento e a direção de visada do radar estão alinhados e o vento sopra em direção ao feixe radar (Holt, 2004). Embora dados de velocidade de vento marinho, derivados de radares escaterômetros, já se encontrem disponíveis na rede em escala global, sua resolução espacial é da ordem de 25 km. Essa resolução, embora excelente para aplicações em grande escala, é um fator limitante para aplicações sobre a plataforma.

Assim, este trabalho tem como objetivo apresentar os primeiros resultados na determinação do campo de velocidade do vento em alta resolução espacial (~1 km), a partir de valores de sigma-zero calibrados, e avaliar a sua acurácia comparando os resultados obtidos com medidas de velocidade do vento do escaterômetro QuikSCAT.

2. Materiais e método

Neste trabalho são utilizadas imagens do sensor ASAR (Advanced Synthetic Aperture Radar), a bordo do satélite europeu Envisat, adquiridas no modo de operação ScanSAR, com resolução espacial de 150 m e largura de faixa imageada de 450 km, disponibilizadas pela Petrobrás. Foram selecionadas imagens da Baía de Campos, localizada na região sudeste do Oceano Atlântico Sul, que apresentam variações significativas de σ^0 , proporcionando a geração de campos de vento com suficiente variabilidade espacial.

Nessa primeira fase do estudo, a direção do vento foi extraída a partir dos dados do escaterômetro QuikSCAT (resolução espacial de aproximadamente 25 km), disponíveis gratuitamente na página Remote Sensing Systems, que foram adquiridos para as mesmas datas, e posicionamento geográfico das imagens Envisat. Buscou-se dos dois conjuntos de dados QuikSCAT (diurno e noturno) aquele correspondente mais próximo temporalmente aos dados SAR, resultando em uma diferença de 4 horas entre a aquisição dos dois tipos de dados. Os dados de direção do vento são utilizados no modelo CMOD4, descrito a seguir. Os dados de velocidade do escaterômetro QuikSCAT, não utilizados no procedimento, são usados na comparação final com os ventos ASAR.

2.1. Determinação do campo de velocidade do vento

O campo de velocidade do vento marinho de superfície pode ser estimado por meio de modelos empíricos, como o modelo CMOD4 (Stoffelen e Anderson, 1997), utilizado nesse trabalho. Esse modelo fornece o valor de sigma-zero, se conhecidos, a velocidade do vento (V), o valor do ângulo entre a direção de visada do radar e a direção do vento (Φ), e o ângulo de incidência do feixe de radar, Θ (modelo direto). Em nosso caso, temos o problema inverso, isto é, a partir de medições de σ^0 , obtidas das imagens SAR, e conhecidos os ângulos de incidência radar e o ângulo entre vento e feixe radar, pode-se em princípio inverter o modelo CMOD4 e determinar V . Embora em princípio o processo não seja complexo, a presença de ruído speckle e outros efeitos ambientais sobre a resposta SAR introduzem complicações que devem ser adequadamente tratadas para a efetivação dessa inversão. Erros no processo de conversão dos valores digitais da imagem em σ^0 são convertidos automaticamente em erros de V . Assim, para a aplicação dessa metodologia é necessária uma calibração de boa qualidade nas imagens SAR, expressas em σ^0 .

Tendo sido obtidos os valores da direção do vento a partir de dados auxiliares e ângulo de incidência, para se determinar V são atribuídos valores de velocidade (intervalo de 1.5 a 15 m/s) ao modelo direto CMOD4, até que, para um determinado valor V , seja mínima a diferença entre o σ^0 dado pelo modelo direto e aquele medido na imagem SAR. Esse processo é feito repetidamente para cada pixel da imagem, gerando para cada célula de resolução um valor correspondente de velocidade do vento em metros por segundo.

Os valores das variáveis sigma-zero e Θ são extraídos da imagem, enquanto o ângulo Φ é calculado a partir de dados do escaterômetro QuikSCAT. Estamos trabalhando para a determinação do ângulo Φ a partir das feições lineares presentes na própria imagem SAR. A fim de diminuir o efeito do ruído speckle sobre os valores de σ^0 , é necessário reduzir o número equivalente de “looks”(NEL) da imagem SAR (Hasager et al., 2004). Isso é realizado por um processo progressivo de suavização por média em caixa e reamostragem dos valores

de retroespalhamento para as novas células de resolução. Esse processo também tem o papel de remover efeitos de pequena escala, não associados à variação do vento, sobre as variações de σ° . Estudos indicam que promediações de, no mínimo, 500 m são necessárias para resolver esses problemas (Horstmann et al., 2000). A calibração dos valores de sigma-zero foi realizada segundo a metodologia proposta por Rosich e Meadows (2004).

2.2. Avaliação dos resultados

As comparações entre esses dados foram feitas visualmente e numericamente, através da análise de diagrama de espalhamento (*scatter plot*) e coeficiente de correlação entre os dados de velocidade do vento QuikSCAT e os obtidos por meio da imagem SAR. O campo de vento SAR (~1 km) foi degradado até a resolução espacial do escaterômetro (25 km) aplicando um método de reamostragem por médias, fazendo com que os dois campos de velocidade tivessem o mesmo tamanho (8x8 células de resolução). Posteriormente, a comparação foi realizada ponto a ponto, totalizando 64 pontos.

3. Resultados

Um exemplo do campo de velocidade do vento resultante da metodologia descrita acima pode ser visto na **Figura 1b**. Esse resultado foi gerado a partir dos valores de σ° do recorte de uma imagem ASAR, apresentado na **Figura 1a**. A partir da imagem ASAR Envisat com resolução original de 150 m e NEL igual a 4, foi feito um recorte com dimensões de 1900x1900 pixels. Nesse recorte realizou-se uma degradação espacial com suavização por média e reamostragem para 152x152 pixels de 937 m (NEL=7) visando, além da redução do ruído speckle, a compatibilidade entre as grades de valores da imagem e dados QuikSCAT. A grade de direção do vento QuikSCAT correspondente ao recorte analisado é de 8x8 elementos. Os dados de direção do vento QuikSCAT são mantidos constantes para cada célula de 19x19 pixels da imagem SAR até que se complete a matriz da imagem de dimensão 152x152.

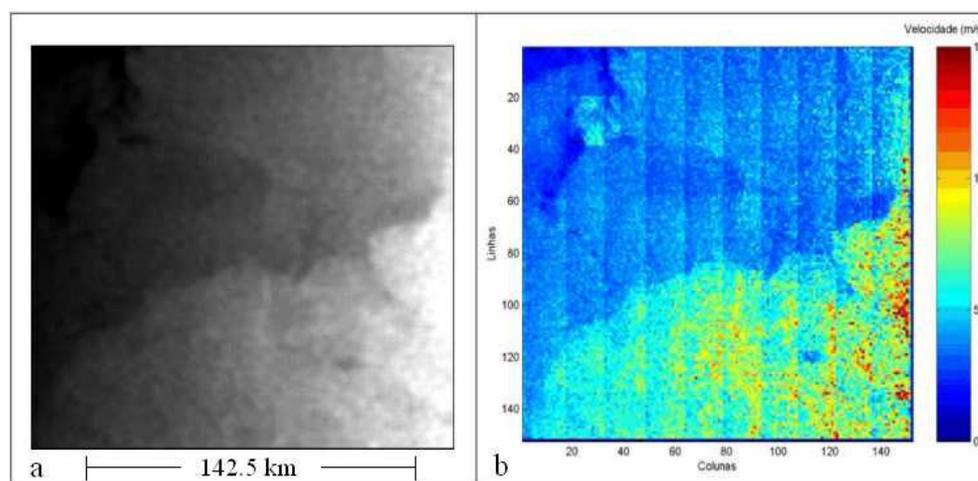


Figura 1- a) Recorte de uma imagem σ° ASAR da região da Baía de Campos, RJ. b) Campo de velocidade do vento, com resolução de ~1 km.

A imagem da esquerda apresenta valores de σ° variando entre -23 e 4 dB. Os valores de Θ variam de 17 a 28 graus para essa imagem e a direção do vento, obtida do QuikSCAT, de 261 a 284 graus em relação ao norte (convenção oceanográfica). Após a inversão do modelo CMOD4, vê-se na figura da direita que a magnitude do vento varia desde 0 a 15 m/s. Nota-se,

assim um grande gradiente na magnitude do vento, principalmente da região superior esquerda para a inferior direita da imagem. O valor nulo de velocidade indica que o algoritmo não foi capaz de encontrar a velocidade correspondente dentro do intervalo de variação escolhido (1.5 m/s a 15 m/s). Estudos indicam que ventos muito baixos, menores que algo em torno de 2 m/s, não produzem suficiente sinal σ° para garantir sua detecção com exatidão. Para ventos muito fracos, os níveis de σ° podem ficar abaixo, ou marginalmente acima do ruído de base do próprio sensor.

As faixas verticais presentes na **Figura 1b** foram causadas por variações abruptas nos valores de ângulo de incidência ao longo das linhas. Como os valores das constantes do modelo CMOD4, presentes nos valores publicados na literatura, são constantes em cada faixa de resolução de 1° grau, mantivemos os valores de Θ constantes e arredondados para seu valor inteiro em cada faixa. Estamos no momento implementando um método para correção desse problema. Como é de se esperar, a comparação visual das duas figuras, mostra valores de σ° mais altos (regiões mais claras da imagem) e mais baixos (regiões mais escuras) correspondentes a valores de vento que apresentam maior e menor magnitude, respectivamente. Essa afirmação desconsidera a variação de σ° com Φ , pois valores de vento de magnitude constante, mas ortogonais ao feixe radar, implicam em menores valores de σ° .

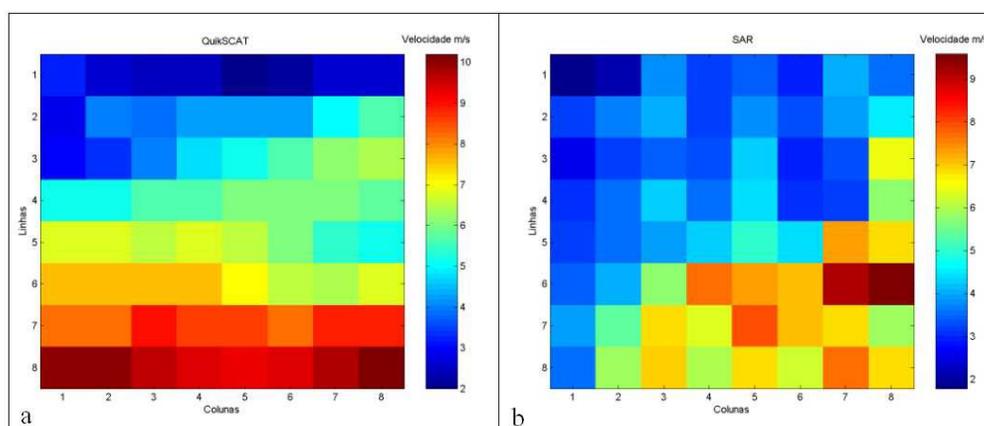


Figura 2- a) Campos de velocidade do vento QuikSCAT (a) e SAR (b) com resolução de 25 km correspondentes ao recorte da imagem ASAR da Figura 1.

Os campos de velocidade do vento utilizados para a comparação entre os dados podem ser vistos na **Figura 2**. Traçando uma linha diagonal com origem no canto inferior esquerdo e terminando no canto superior direito, percebe-se boa concordância visual entre os dados na parte superior da diagonal e maior discordância na parte inferior, com valores mais altos de velocidade dos dados QuikSCAT. A variação dos valores de velocidade nos dois campos apresentam razoável concordância, com dados QuikSCAT variando de 2 a 10.2 m/s e dados SAR variando de 1.78 a 9.58 m/s. O dado QuikSCAT tem valor médio um pouco mais alto do que o dado SAR : 6m/s e 4.8 m/s, respectivamente. Após realizada a comparação numérica dos resultados obteve-se um coeficiente de correlação igual a 0.6204. O diagrama de espalhamento pode ser visto na **Figura 3**.

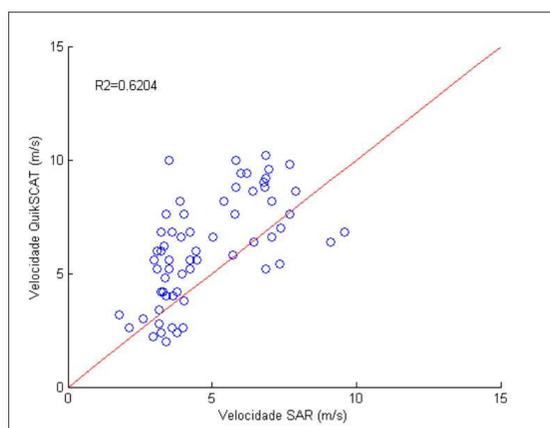


Figura 3- Diagrama de espalhamento entre os dados de velocidade obtidos pelo escaterômetro QuikSCAT e por imagem SAR.

4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos até o presente momento, concluímos que o campo de vento gerado a partir da imagem SAR apresenta razoável concordância com dados de velocidade do vento do escaterômetro QuikSCAT, com coeficiente de correlação de 0.6204. Esperamos que este valor melhore após a implementação da variação contínua do ângulo de incidência no modelo CMOD4 e após o processamento de um maior número de imagens ASAR. Em seqüência a este trabalho espera-se implementar um processamento que extraia a direção preferencial do vento a partir de feições lineares na própria imagem. Essas feições são causadas pelo vento ou por rolos atmosféricos (atmospheric roll vortices), gerados por instabilidades presentes na camada limite atmosférica sobre o mar. Outra opção que está sendo estudada é o uso de dados de vento do modelo BRAMS (Brazilian Regional Atmospheric Modeling System), a serem disponibilizados pelo CPTEC/INPE, como dados de entrada do modelo CMOD4 e para posterior avaliação do campo de velocidade do vento.

Agradecimentos: Os autores desejam agradecer ao CENPES/Petrobrás, na figura da Dra. Cristina M. Bentez, pela disponibilização da imagem Envisat/ASAR utilizada.

Referências

- Du, Y.; Vachon, P. W.; Wolfe, J. Wind direction estimation from SAR images of the ocean using wavelet analysis. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 03, p. 498-509, 2002.
- Hasager, C. B.; Dellwik, E.; Nielsen, M.; Furevik, B. R. Validation of ERS-2 SAR offshore wind-speed maps in the North Sea. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 19, p. 3817-3842, 2004.
- Holt, B. SAR imaging of the ocean surface. In: Jackson, C. R.; Apel, J. R.(eds.) **Synthetic aperture radar marine user's manual**. Washington: NOAA, 2004. v. 1, cap. 2, p. 25-79.
- Horstmann, J.; Lehner, S.; Koch, W.; Tonboe, R. Computation of wind vectors over the ocean using Spaceborn Synthetic Aperture Radar. **Johns Hopkins APL Technical Digest**, v.21, n. 1, p. 100-107, 2000.
- Rosich, B.; Meadows, P. Absolute calibration of ASAR Level 1 products generate with PF-ASAR. Franscati (Rome): European Space Agency, 2004. 27 p. (ENVI-CLVL-EOPG-TN-03-0010).
- Stoffelen, A.; Anderson, D. Scatterometer data interpretation: estimation and validation of the transfer function CMOD4. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, n. C3, p. 5767-5780, 1997.
- Remote Sensing Systems Home Page. Disponível em: < <http://www.ssmi.com/>>. Acesso em: 22 jan. 2006.

