ESTIMATIVA DE CAMPOS DE VENTO NA SUPERFÍCIE DO MAR A PARTIR DE IMAGENS DE RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA (SAR) E COMPARAÇÕES COM DADOS DE ANEMÔMETROS

Douglas Fraga Rodrigues[1]

[1]Universidade Federal do Rio de Janeiro – COPPE/UFRJ
Cidade Universitária, Ilha do Fundão – 21949-900 – Rio de Janeiro – RJ, Brasil
douglas.fraga@gmail.com

RESUMO

No presente trabalho, foi aplicada uma metodologia para estimativa de campos de vento, com resolução espacial de 1600 x 1600 metros, sobre o mar, a partir de dados de Radar de Abertura Sintética. Foram utilizados dados do satélite RADARSAT-2, modos *Wide* e *ScanSAR Narrow*, adquiridos sobre a região do Golfo do México e o modelo empírico CMOD-IFR2 para a modelagem dos ventos. Para inicializar o modelo CMOD-IFR2, foram utilizados dados de direção do vento obtidos com o escaterômetros QuikSCAT. Os valores estimados foram comparados às medições *in situ* observadas no mesmo instante das aquisições dos dados SAR, obtidas por anemômetros instalados em plataformas exploratórias da empresa estatal Petróleos Mexicanos (PEMEX) e no recife Cayo Arcas. Os campos de vento modelados foram sub-amostrados para a mesma resolução espacial do QuikSCAT e o cálculo do coeficiente de correlação e do erro médio quadrático entre os dois dados foi aplicado. Os resultados obtidos apresentaram concordância com os resultados encontrados na literatura, mostrando que o método pode ser aperfeiçoado e operacionalizado.

Palavras chave: Radar de Abertura Sintética, campos de vento, CMOD-IFR2, anemômetros.

INTRODUÇÃO

Os ventos que escoam sobre a superfície marinha são de grande relevância tendo possibilitado, historicamente, que o homem fosse capaz de navegar pelos oceanos. A busca por fontes energéticas no meio marinho seja através da instalação de aerogeradores em alto mar ou da exploração de campos de petróleo submarinos, motiva o desenvolvimento e aprimoramento de técnicas de monitoramento dos campos de vento sobre os oceanos. Com esse conhecimento, a probabilidade de detecção de um possível vazamento de óleo pode ser estimada (Staples e Mendoza, 2002), assim como a deriva da mancha.

Existem diferentes maneiras de avaliar o comportamento do vento, dentre elas o uso de anemômetros e de sensores remotos de microondas. Com o desenvolvimento de modelos matemáticos como o C-MOD4 foi possível estimar o campo global de vetores de vento sobre o oceano, com resolução espacial de 50 km, acurácia de 2,00 ms^{-1} na velocidade e 15º na direção, porém com uma ambiguidade direcional de 180º. A baixa resolução espacial dos escaterômetros, no entanto, inviabiliza a obtenção de informações em regiões próximas à costa. Zeccheto e De Biasio (2007) afirmam que estruturas locais provocadas pelo vento são identificadas apenas em resoluções espaciais mais finas, não sendo detectáveis em outras fontes de baixa resolução espacial. Alternativamente, o Radar de Abertura Sintética, ou SAR (*Synthetic Aperture Radar*), que também emite sinais eletromagnéticos na faixa de micro-ondas, permite a aquisição de informações quantitativas do vento em escala local.

OBJETIVOS

Este estudo objetivou estimar campos de velocidade do vento na superfície marinha da região ao sul do Golfo do México a partir de imagens SAR do satélite RADARSAT-2 e informações auxiliares de direção do vento provenientes do escaterômetro *QuikSCAT*, e comparar os resultados com os dados provenientes de escaterômetro e de medições de anemômetros instalados em quatro pontos ao longo da área de estudo.

METODOLOGIA

O vento que incide sobre a superfície da água torna-a rugosa com a troca de energia cinética por meio de forças cisalhantes. À medida que sua velocidade aumenta, a rugosidade superficial da água se intensifica. O sinal de radar interage com essa rugosidade superficial, e a partir dessa relação é possível utilizar dados SAR para inferir a velocidade do vento.

Apenas as ondulações de pequena amplitude interagem com o sinal de radar, originando o mecanismo de ressonância *Bragg*. Diversos fatores, como o ângulo de incidência e a polarização do sinal de radar, o tamanho dos *pixels* da imagem e a direção do vento têm relação direta com os valores de σ_0 (magnitude de espalhamento de determinado alvo por unidade de área na direção do sensor), e conseqüentemente, com os valores de velocidade do vento estimados pelo modelo CMOD-IFR2.

Como o CMOD-IFR2 estima os valores de σ_0 a partir dos valores de velocidade e direção do vento a uma altura de 10 metros acima do nível do mar, considerando a atmosfera estável (Alpers *et al.*, 1997), para este trabalho foi aplicado o modelo inverso em rotina desenvolvida com o *Software* Matlab. As seguintes etapas foram realizadas seguindo procedimentos adotados por Rodrigues (2011):

- Seleção dos dados RADARSAT-2 e dados auxiliares (Tabela 1);
- Processamento dos dados RADARSAT-2 com o *software* PCI Geomatica;
- Padronização dos dados auxiliares para a mesma resolução espacial dos dados SAR;
- Normalização dos dados *in situ* para a altura de 10 metros acima do nível do mar;
- Aplicação do algoritmo;
- Comparações e avaliação dos resultados.

Os resultados obtidos foram avaliados comparando-se os valores de velocidade do modelo CMOD-IFR2 com os valores de referência obtidos pelo escaterômetro *QuikSCAT* e pelos anemômetros. A comparação com os dados *QuikSCAT* foi feita através do cálculo do coeficiente de correlação e do cálculo do erro médio quadrático (RMS). Cabe ressaltar que as matrizes com os resultados calculados pelo CMOD-IFR2 foram re-amostradas para a mesma resolução das matrizes de referência, ou seja, de aproximadamente 1,6 km para 25 km.

Para as comparações com os dados *in situ*, foram calculadas as diferenças entre os valores pontuais dos quatro anemômetros e os valores das células das matrizes de 1600 metros, provenientes do modelo CMOD-IFR2, sobrepostas espacialmente a cada medição de campo ou mais próximas possíveis a elas, quando não havia sobreposição. A partir dessas comparações pontuais, estimou-se a diferença média entre os dois conjuntos de dados.

RESULTADOS

Os resultados obtidos foram comparados com as velocidades adquiridas pelo *QuikSCAT* (Tabela 2) e o RMS médio encontrado foi de 2,11 $m.s^{-1}$, resultado semelhante ao de Claro (2007), que apresentou RMS médio de 2,00 $m.s^{-1}$. Os valores calculados com o modelo CMOD-IFR2 foram, na média, subestimados em 1,80 $m.s^{-1}$ em comparação aos dados obtidos

pelo *QuikSCAT*, fato também relatado por Zechetto e De Biasio (2007). Ao considerar apenas os resultados onde os dados SAR e *QuikSCAT* foram adquiridos dentro de um intervalo de até seis minutos, a diferença média foi ainda menor, com os valores resultantes subestimados em aproximadamente 1,57 $m.s^{-1}$ em relação ao *QuikSCAT*, e RMS = 1,67 $m.s^{-1}$.

Tabela 1. Data e horário (UTC) de aquisição das imagens SAR, dados *QuikSCAT*, e informações *in situ* (Fonte: LabSAR/COPPE, 2010). As datas destacadas em cinza apresentam defasagem entre os horários de aquisição dos dados SAR e *QuikSCAT*.

	Imagem SAR		*QuikSCAT*		Sensor *in situ*
	Data	Hora	Data	Hora	Hora
ScanSAR Narrow B	30/06/2008	00:23:34	29/06/2008	11:54:00	00:23:27
ScanSAR Narrow B	31/07/2008	00:19:27	31/07/2008	00:18:00	00:19:18
ScanSAR Narrow A	14/08/2008	00:11:12	14/08/2008	00:54:00	00:11:01
ScanSAR Narrow A	31/08/2008	00:15:21	31/08/2008	00:12:00	00:15:10
Wide	08/09/2008	12:07:00	08/09/2008	00:06:00	12:06:48
Wide	26/10/2008	12:07:04	26/10/2008	12:06:00	12:06:48
ScanSAR Narrow B	08/05/2009	00:23:50	08/05/2009	00:18:00	00:23:32

Os campos de vento que apresentaram os piores resultados podem ser justificados pelo fato dos dados *QuikSCAT* mais próximos do momento de aquisição dos dados SAR terem sido adquiridos com 12 horas de defasagem, registrando um cenário diferente. Os campos de vento dos dias 31 de Julho de 2008 e 08 de Maio de 2009 (Figura 1), que apresentaram os melhores resultados, foram estimados com o modo de aquisição *ScanSAR Narrow B*.

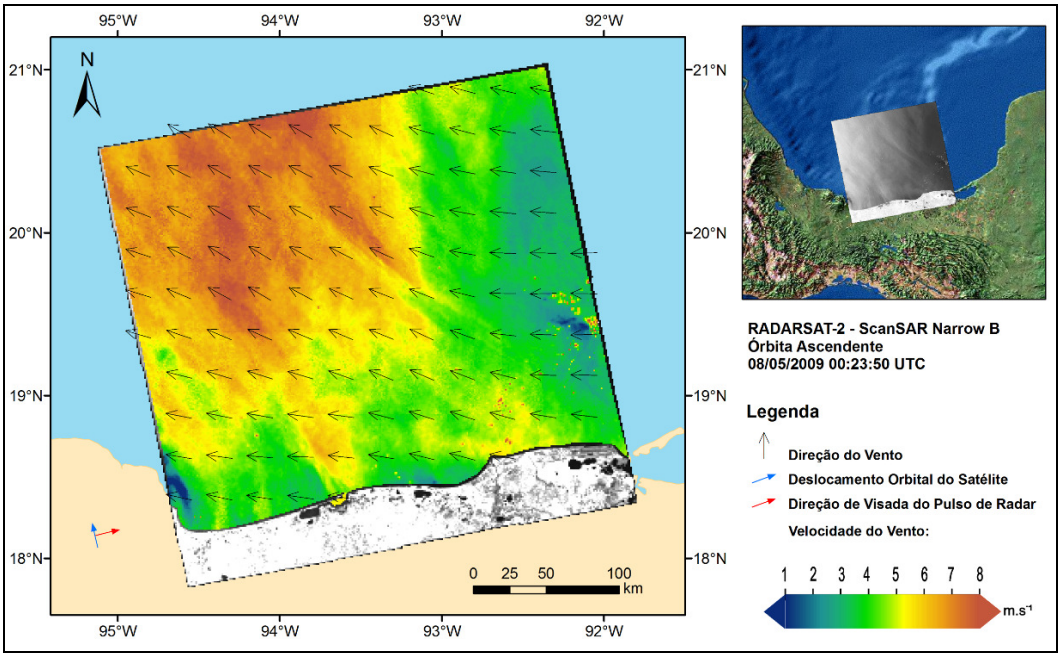

Figura 1. Campo de vento de 08 de maio de 2009.

A diferença média entre os dados calculados e os dados *in situ* foi de 0,74 $m.s^{-1}$, uma diferença menor se comparada à diferença entre os valores calculados e os valores do *QuikSCAT*. Cabe ressaltar que os dados de campo representam uma base de referência mais confiável que os dados do escaterômetro *QuikSCAT*.

Tabela 2. Valores médios de velocidade do vento (m.s^{-1}) adquiridos pelo *escaterômetro* e pelas imagens SAR, utilizando como dado inicial, a direção obtida pelo *QuikSCAT*. Comparação entre as duas formas de estimativa: diferença média, desvio padrão (DP), diferença RMS e coeficiente de correlação (R).

	SAR (m.s^{-1})		*QuikSCAT* (m.s^{-1})		Diferença SAR - *QuikSCAT*			
Data	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**Média**	**DP**	**RMS**	**R**
30/06/2008	7,41	1,38	8,18	1,03	-0,78	1,85	1,99	-0,33
31/07/2008	4,29	0,95	5,69	1,04	-1,38	0,57	1,49	0,85
14/08/2008	3,09	0,77	5,51	0,73	-2,43	0,6	2,5	0,63
31/08/2008	3,84	0,94	5,83	1,1	-2	0,6	2,08	0,85
08/09/2008	4,84	1,1	7,89	1,98	-3,05	1,99	3,64	0,25
26/10/2008	5,57	0,64	7,38	0,4	-1,81	0,8	1,98	-0,15
08/05/2009	5,37	0,65	6,44	0,63	-1,07	0,29	1,11	0,89

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados mostram que quanto menor o intervalo entre as aquisições dos dados SAR e das informações de direção, melhores são os resultados. Como o *QuikSCAT* parou de operar em 2009, atualmente, é necessário utilizar dados de direção provenientes de outros escaterômetros em operação, como o ASCAT (*Advanced Scaterometer*).

Para obtenção de resultados mais consistentes, recomenda-se:

- Adquirir informações de direção do vento no instante mais próximo possível da aquisição dos dados SAR.
- Utilizar algoritmos para estimativa da direção do vento utilizando as feições estriadas presentes na própria imagem SAR, para estimar a direção de maneira instantânea.
- Alterar a célula de resolução básica da imagem para o tamanho de 500 x 500 metros ou superior, para redução do efeito de *speckle*.
- Desconsiderar *pixels* que apresentem valores de σ_0 errôneos, ou que cubram áreas contendo plataformas, embarcações, filmes biogênicos e gelo. Esses *pixels* devem ser interpolados.

Os valores apresentados neste trabalho indicam que os resultados obtidos estão em concordância com os valores encontrados na literatura. No entanto, o número de imagens processadas não é estatisticamente suficiente para estabelecer valores definitivos de RMS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALPERS, W.; MULLER, G.; BRUMMER, B. Study of Atmospheric Boundary Layer Rolls Near Spitsbergen by Using ERS SAR Images of the Sea Surface and a Numerical Model. ***Geoscience and Remote Sensing, IEEE International***, v. 03, p. 1162-1164, 1997.

CLARO, M.S. **Extração do campo de vento na Bacia de Campos, RJ, a partir de imagens ENVISAT/ASAR**, 2007. 112 p. (INPE-15218-TDI/1312). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

RODRIGUES, D. F. **Obtenção de campos de vento na superfície do mar no Golfo do México a partir de imagens de Radar de Abertura Sintética (SAR)**, 2011. 78p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2011.

STAPLES, G.; MENDOZA, A. The Use of RADARSAT-1 SAR Data for Operational Wind Fiels Retrieval. In. ***Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium***, Toronto (Canada), 2002.

ZECCHETO, S.; DE BIASIO, F. Computation of Wind Field from ENVISAT ASAR WIDE SWATH and ERS SAR Images Without any a Priori Information. In. ***Envisat Symposium 2007***, Montreux. Pp. 23-27, April 2007.