

## USO DE RADAR DE ABERTURA SINTÉTICA NA DETECÇÃO DE MANCHAS DE ÓLEO NA SUPERFÍCIE DO MAR A PARTIR DE CLASSIFICAÇÃO TEXTURAL NA REGIÃO DA BACIA DE CAMPOS – RJ

Luciana de Souza Soler<sup>1</sup>, Corina da Costa Freitas<sup>3</sup>, João Antônio Lorenzetti<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Mestre em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). e-mail: lsoler@ltd.inpe.br.

<sup>2</sup> Pesquisadora Titular, Divisão de Processamento de Imagens, INPE. e-mail: corina@dpi.inpe.br.

<sup>3</sup> Pesquisador Titular, Divisão de Oceanografia por Satélite, INPE. e-mail: loren@ltd.inpe.br.

**Abstract.** The search for oil reserves and oil production along offshore has caused an increase in oil and its derivatives transportation by ships. As a result, the oil spills have showed a serious threat to ocean healthy and preservation. The Synthetic Aperture Radar (SAR) capability in detecting ocean surface waves, allows the oil spills identification due the damping of gravity and capillary waves. The wave damping causes a low roughness, thus a low signal returns to radar. However, some ocean features, as low wind areas and rain cells (so-called oil spill look-alikes), have similar responses to oil spill. This fact is considered the main problem in SAR contribution development in oil spill man made monitoring. It was used 4 RADARSAT/SAR images in Campos Basin, Rio de Janeiro State. Two different textural classifiers were applied to separate oil, water, ships and oil spill look-alikes. It was observed that both classifiers had relatively a good performance in separating oil, water and ships. However, in some classifications, it was observed a relative confusion between oil spill and its look-alikes due to their similar responses. In spite of this limitation, it was concluded that SAR has a great potential in the oil spill detection in ocean surface.

### Introdução

A procura por reservas de petróleo ao longo de plataformas continentais tem sido realizada, ao longo dos anos, em águas cada vez mais profundas, sendo que o petróleo cru e seus derivados são transportados por um número crescente de navios e oleodutos submarinos através dos oceanos. Como resultado destas atividades, o derramamento de óleo se mostra como uma séria ameaça à preservação e manutenção da saúde dos oceanos. Algumas técnicas convencionais, como a notificação de derramamento de óleo através da observação visual de tripulantes de embarcações da guarda costeira, de navios civis e, inclusive de aviões, têm sido utilizadas. Entretanto, cobrem uma pequena porcentagem detectável de óleo derramado. Em virtude das limitações de técnicas convencionais de fiscalização e monitoramento da poluição do mar, tem-se buscado as técnicas de sensoriamento remoto orbital. Estas técnicas oferecem a possibilidade de complementar e otimizar as estratégias de detecção, permitindo uma cobertura mais efetiva e em tempo real (ou quase real), tanto do óleo proveniente de fontes antrópicas (acidentes e poluição), quanto daquele proveniente de fontes naturais, o que facilita, inclusive, a busca de novos pontos de exploração. Dessa forma o objetivo principal deste trabalho é avaliar a potencialidade de detecção de feições oceânicas de manchas de óleo através de imagens de radar de abertura sintética orbital na região da Bacia de Campos, a partir da utilização de classificação digital textural.

## Materiais e Métodos

A capacidade do SAR em detectar ondas de superfície no mar favorece a identificação de manchas devido ao amortecimento de ondas do tipo capilares, as quais são as principais responsáveis pela ocorrência de resposta ao radar de abertura de sintética através do efeito de retroespalhamento de Bragg (Wright, 1978; Espedal, 1998). Este amortecimento proporciona uma baixa rugosidade na superfície oceânica, quando a camada de óleo possui espessura suficiente para diminuir, de forma significativa, a tensão superficial da água imediatamente abaixo desta. Entretanto algumas feições oceânicas como filmes naturais, baixa velocidade dos ventos de superfície e células de chuva, possuem respostas muito similares às que indicam camadas de óleo no mar. Este fato é considerado um dos principais problemas no desenvolvimento das contribuições do SAR no monitoramento e detecção de manchas de óleo provocadas pela ação antrópica (Espedal, 1997).

Foram utilizadas 4 imagens do sistema RADARSAT/SAR sendo duas no modo *ScanSAR Wide* relativas as datas de 15/07/97 e 05/07/98, e duas no modo *Fine* relativas as datas de 04 e 06/09/96, abrangendo a região da Baía de Campos. Apesar de não possuírem confirmações de campo, possuem fortes feições indicativas da presença de óleo. Além das imagens de radar, foram utilizadas imagens de temperatura da superfície do mar do sensor AVHRR do sistema NOAA obtidas nas datas das imagens SAR. Os dados AVHRR foram analisados qualitativamente com dois propósitos: verificação de ocorrência de chuvas fortes com presença de nuvens convectivas e avaliação da temperatura do mar (Johannessen et al., 1994, Espedal et al., 1996, Lorenzzetti, 1999).

Segundo Lichtenegger (1994), a superfície oceânica geralmente aparece escura em imagens ERS-1 SAR se a velocidade do vento for inferior a 3 m/s, e acima 10 m/s as manchas de óleo tendem a ser rapidamente dispersas. Portanto, o monitoramento de manchas de óleo se limita à faixa de 3 a 10 m/s para a velocidade do vento. Em virtude disso foram utilizados dados de intensidade e direção do vento disponibilizados pelo projeto Sistema de Previsões de Ondas (Projeto Sistema de Previsões de Ondas, 1999).

Para a classificação textural das imagens SAR, foram utilizados dois algoritmos ainda não testados para detecção de manchas de óleo, entretanto já utilizados na classificação de imagens SAR. Foram escolhidos devido à disponibilidade dos mesmos através do INPE (Freitas, 1999) além da busca de resultados satisfatórios com sistemas implementados por esta instituição.

Rennó et al. (1998) desenvolveram um sistema para classificação por regiões utilizando medidas de textura denominado *Texture*. O sistema proporciona uma interface de fácil acesso, desenvolvida em linguagem IDL e utilizado através da interface ENVI 3.2, para extrair e analisar medidas texturais das imagens. A classificação é realizada baseando-se em áreas de treinamento pré-selecionadas pelo usuário segundo as classes de interesse, e através de uma imagem segmentada. O sistema proporciona o cálculo de uma série de medidas estatísticas de primeira e segunda ordem, medidas de Haralick, medidas de autocorrelação, além de medidas morfológicas. Sendo que apenas as medidas de Haralick e de autocorrelação consideram a distribuição espacial dos dados. A análise das medidas de textura é realizada para eliminar valores fora das margens consideradas (*outliers*). Faz-se, então, a seleção das medidas através de um fator de discriminação na tentativa de selecionar aquelas que mais caracterizam a textura das áreas de

treinamento inicialmente definidas e portanto, que melhor separem as classes de interesse. Por fim, cada polígono de cada região na imagem segmentada é classificado como pertencendo à área de interesse utilizando a distância de Mahalanobis.

Miranda et al. (1998), desenvolveram um método de classificação textural por semivariograma (STC) para imagens de radar, implementado no sistema SPRING no ambiente UNIX (versão SPRING GISAM). Esta técnica consiste na análise do comportamento do semivariograma para cada classe previamente escolhida da imagem. O cálculo do semivariograma é feito a partir de áreas de treinamento escolhidas inicialmente, de tamanho arbitrário, sendo que o estimador da função de semivariograma é dado por:

$$\hat{\gamma}(\mathbf{h}) = \frac{1}{2N(\mathbf{h})} \sum_{i=1}^{N(|\mathbf{h}|)} \left[ Z(\mathbf{x}_i) - Z(\mathbf{x}_{i+|\mathbf{h}|}) \right]^2$$

onde  $Z(\mathbf{x}_i)$  é o valor do nível de cinza do pixel localizado em  $\mathbf{x}_i$ , e  $N(\mathbf{h})$  é o número de pares  $Z(\mathbf{x}_i)$  e  $Z(\mathbf{x}_{i+|\mathbf{h}|})$  separados por uma distância (*lag*) de  $h$  pixels. Esta técnica é apropriada quando se deseja considerar os valores de níveis de cinza dos pixels em conjunto com seus vizinhos mais próximos. Os pixels são classificados conforme o *lag* escolhido para cada classe de acordo com os resultados dos semivariogramas. Consideradas então as informações acima detalhadas, as imagens SAR foram classificadas por ambos os sistemas, sendo que as amostras de treinamento para cada um deles foram tomadas considerando as feições contidas nos dados AVHRR e dados de vento nas áreas em comum das imagens e destes dados.

## Resultados

As classificações foram realizadas sobre recortes feitos sobre as imagens em regiões de ocorrência de feições de óleo. As figuras 2 e 3 mostram estes recortes das imagens nos modos *ScanSAR Wide* e *Fine* respectivamente. É importante salientar que a imagem *ScanSAR Wide* de 05/07/98 sofreu um corte um pouco maior para a classificação no *Texture* devido à necessidade de colunas e linhas serem múltiplos de dois para a segmentação da mesma.

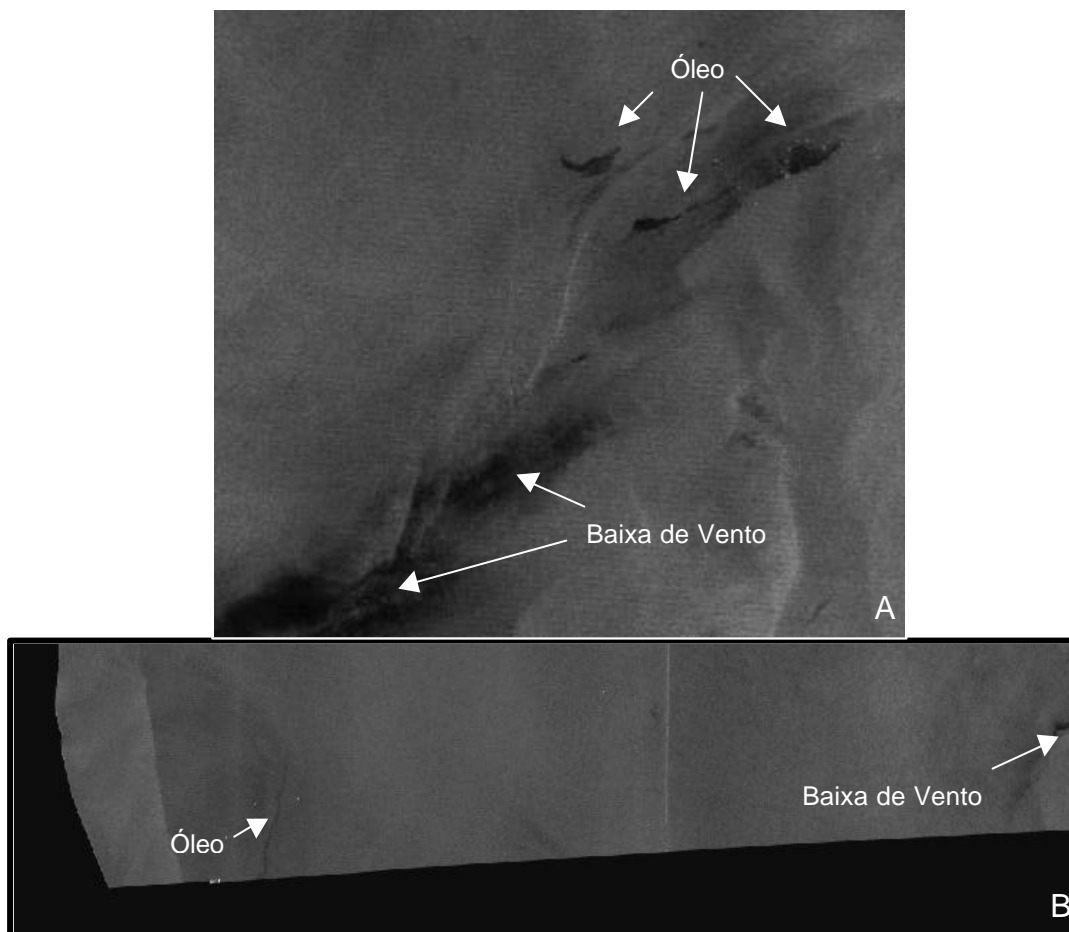


Figura 1 – Imagens do sistema RADARSAT/SAR modo *ScanSAR Wide* das datas de 5/07/98 (A) e 15/07/97 (B), com as respectivas indicações de feições de óleo e regiões com ventos de superfície abaixo de 3 m/s.

É possível observar que visualmente as feições de óleo e seus assemelhados (baixa de vento e células convectivas) são de difícil distinção em relação a diferença de tonalidade que o olho humano é capaz de discernir, entretanto a morfologia destas feições permite uma melhor distinção dos fenômenos caracterizados pelas imagens. Esta distinção inicial foi então confirmada com os dados de intensidade e direção do vento de superfície e de temperatura de topo de nuvem (NOAA/AVHRR), e, a partir das amostras de treinamento para cada classe (óleo, água, baixa de vento, célula de chuva e embarcação), as diferenças de textura e tonalidade, quando presentes, foram então consideradas e utilizadas para as classificações.

Os resultados das classificações texturais para cada imagem sendo a classificação A gerada através do classificador STC e a classificação B gerada através do classificador *Texture*, estão apresentadas nas figuras 3, 4, 5 e 6.

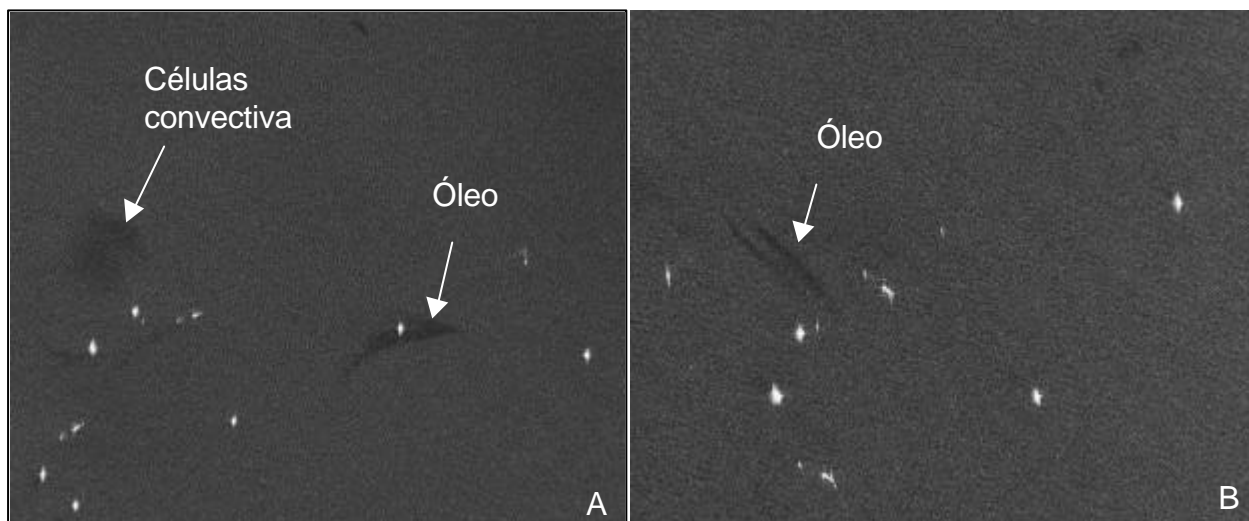
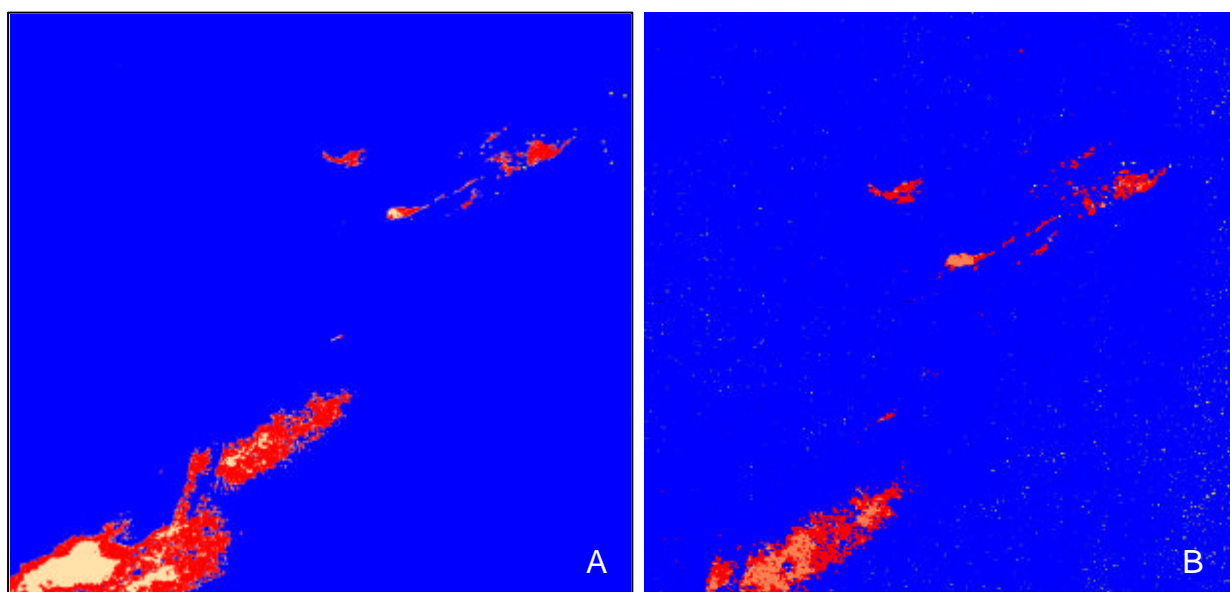


Figura 2 – Imagens do sistema RADARSAT/SAR modo *Fine* das datas de 04/09/96 (A) e 06/09/96 (B), com as respectivas indicações de feições de óleo e regiões com ocorrência de células convectivas.



Legenda para todas as classificações apresentadas:

- Óleo
- Baixa de Vento
- Embarcação
- Água
- Célula de chuva

Figura 3 – Classificações texturais realizadas sobre a imagem RADARSAT/SAR modo *ScanSAR Wide* de 05/07/98 com os classificadores *STC* (A) e *Texture* (B).

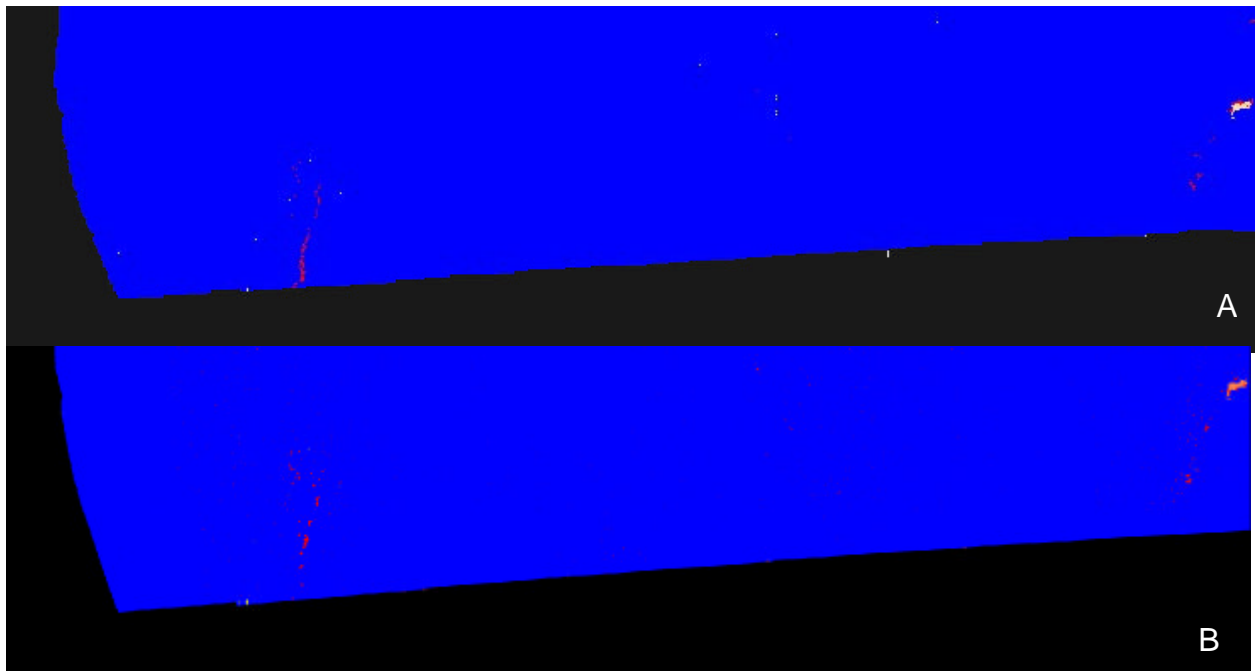


Figura 4 – Classificações texturais realizadas sobre a imagem RADARSAT/SAR modo *ScanSAR Wide* de 15/07/97 com os classificadores STC (A) e *Texture* (B).

As classificações foram analisadas em termos visuais e em termos do coeficiente *kappa*, o qual considera todos os elementos da matriz de confusão e não somente os elementos da diagonal principal. Este coeficiente supõe que parte do acerto total poderia ser devido ao acaso e portanto o coeficiente *kappa* estima a proporção de acerto que efetivamente ocorre.

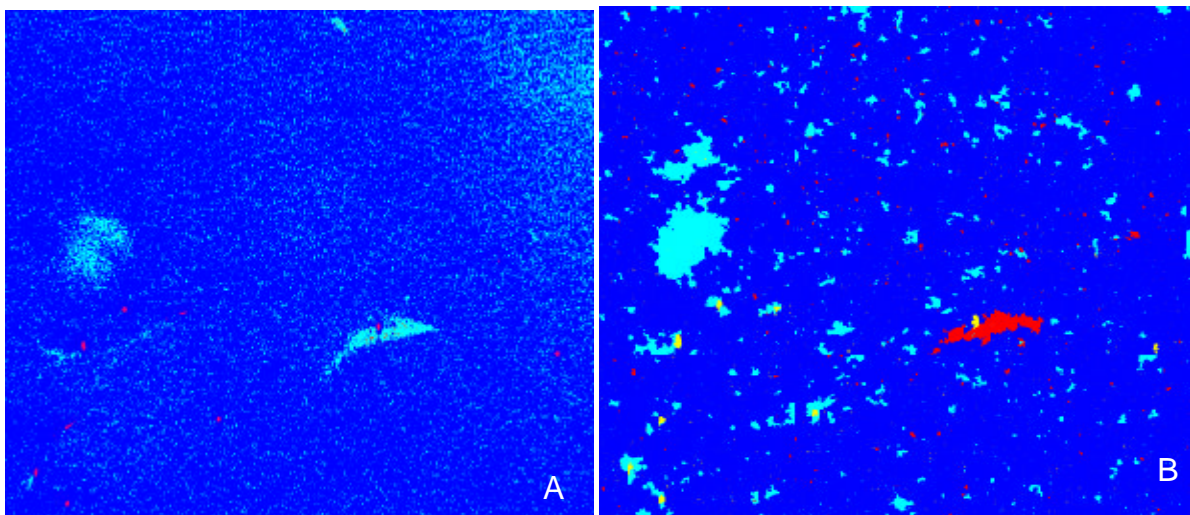


Figura 5 – Classificações texturais realizadas sobre a imagem RADARSAT/SAR modo *Fine* de 04/09/96 com os classificadores STC (A) e *Texture* (B).

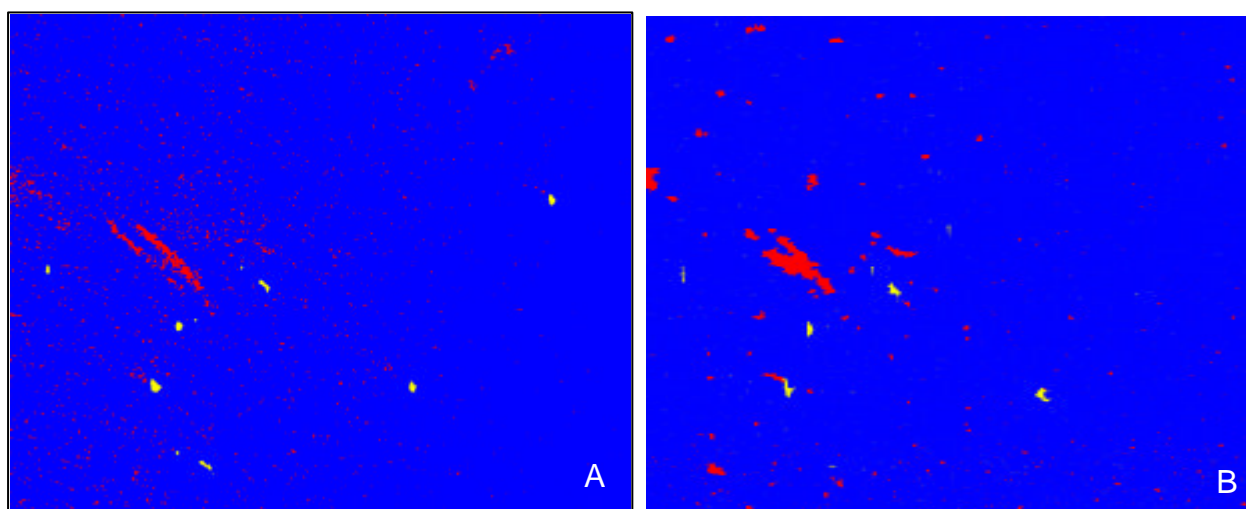


Figura 6 – Classificações texturais realizadas sobre a imagem RADARSAT/SAR modo *Fine* de 06/09/96 com os classificadores STC (A) e *Texture* (B).

Nas classificações das imagens *ScanSAR Wide* observou-se que para a imagem de 15/07/97, o resultado dos classificações foi bastante semelhante tanto em termos visuais como em termos do coeficiente de concordância *kappa*. Entretanto na data de 05/07/98, observou-se que a classificação pelo STC apresentou um resultado significativamente melhor em termos do coeficiente *kappa* e em termos da classificação da região de baixa de vento. Este resultado pode ser atribuído, em parte, ao fato de que para tal classificação a imagem utilizada possuía uma região um pouco maior de baixa de vento o que, conseqüentemente influenciou na amostragem. Em todas a classificações geradas com as imagens *ScanSAR Wide* observou-se uma relativa confusão entre as classes óleo e baixa de vento. Em relação às classificações da imagens modo *Fine*, observou-se que as classificações através do *Texture*, apresentaram melhores resultados em termos do *kappa*. Além disso, a classificação pelo *Texture* da imagem de 06/09/96 apresentou melhoras significativas também em termos visuais. Na tabela 1 estão esquematizados os valores dos coeficientes *kappa* conforme as imagens e o classificador utilizado

Tabela 1 – Coeficientes de concordância *kappa* para as classificações realizadas.

Imagens	Classificadores com respectivos valores do <i>kappa</i>	
	STC	<i>Texture</i>
<i>ScanSAR Wide</i> 15/07/97	0.690701	0.698532
<i>ScanSAR Wide</i> 05/07/98	0.997571	0.697594
<i>Fine</i> 04/09/96	0.496097	0.986986
<i>Fine</i> 06/09/96	0.698589	0.936011

## Conclusão

Concluiu-se que ambos os classificadores constituem-se de ferramentas úteis na detecção de manchas de óleo e seus assemelhados, sendo que o classificador *Texture* possui um melhor desempenho para imagens RADARSAT/SAR modo *Fine*. Concluiu-se que os dados de vento e TSM possuem significativa contribuição na diferenciação de óleo e seus assemelhados. Por fim, concluiu-se que o SAR constitui-se como uma ferramenta útil e prática no monitoramento de manchas de óleo na superfície oceânica.

## BIBLIOGRAFIA

- Espedal, H.A. Oil spill and its look-likes in ERS SAR imagery. **Earth Observation and Remote Sensing Center**, 1997. No prelo.
- Espedal, H.A. **Detection of oil spill and natural film in the marine environment by spaceborne Synthetic Aperture Radar**. Norway. 200p. Dr. Scient. Thesis – University of Bergen, 1998.
- Espedal, H. A.; Johannessen, O. M.; Knulst, J. Satellite detection of natural films on the ocean surface. **Geophysical Research Letters**, v.23, n.22, p.3151-3154, Nov 1996.
- Freitas, C.C. **Algoritmos de classificação**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999). Comunicação pessoal.
- Johannessen, J.A.; Shuchman, R.A.; Johannessen, O.M. Mesoscale variability studies with SAR on ERS-1. In: **Oceanography application of remote sensing**, editado por Ikeda, M.; Dobson, CRC Press Inc., Boca Raton, 1994.
- Lichtenegger, J. Using ERS-1 SAR images for oil spill surveillance. **Earth Observation Quarterly**, v. 44, p.7-10, 1994.
- Lorenzetti, J.A. **Obtenção de produtos de temperatura da superfície oceânica através de imagens AVHRR**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999). Comunicação pessoal.
- Miranda, F.P.; Fonseca, L.E.N.; Carr, J.R. Semivariogram textural classification of JERS-1 (Fuyo-1) SAR data obtained over a flooded area of the Amazon rainforest. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 3, p.549-556, March 1998.
- Projeto Sistema de Previsões de Ondas. [on line]. <<http://atlasul/>>. 27/04/99.
- Rennó, C.D.; Freitas, C.C.; Sant'Anna, S.J.S. A system for region image classification based on textural measures. **Image Processing Techniques**, p. 159 -164, Sep. 1998. Proceedings of the Second Latino-American Seminar on Radar Remote Sensing.
- Wright, J.W. Detection of ocean waves by microwave radar; the modulation of short gravity-capillary waves. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 13, p. 87-105, 1978.