

# Detecção de Óleo e Ocorrências Ambientais em Imagens SAR: Avaliação de Diferentes Parâmetros de Pré-processamento e Diferentes Segmentadores

Patrícia Genovez<sup>1</sup>  
Corina da Costa Freitas<sup>2</sup>  
Cristina Maria Bentz<sup>3</sup>  
Ramon Morais de Freitas<sup>2</sup>  
Luciano Vieira Dutra<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PETROBRAS/Exploração & Produção/US-AP – Controle de Contingências  
Av. Amaral Peixoto, 11000, Imboassica - 27913-350 - Macaé - RJ, Brasil  
genovez.sampling@petrobras.com.br

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 – 12245-970 – São José dos Campos - SP, Brasil  
{corina, dutra}@dpi.inpe.br; ramon@dsr.inpe.br

<sup>3</sup> PETROBRAS/CENPES - Centro de Pesquisas  
Cidade Universitária, Q.7, Ilha do Fundão – 21949-900 - Rio de Janeiro - RJ, Brasil  
cris@petrobras.com.br

**Abstract.** Most of automatic detection systems for oil spills are composed of four parts: a) the SAR image preprocessing; b) the dark spots detection; c) the feature extraction for each dark spot detected, and; d) the classification of each dark spot detected as an oil spill or a lookalike. At the end of the processing chain the system must be able to emit an alert signal estimating the probability of a dark spot to be an oil spill. The researches concluded by Bentz in 2006 found an automatic method to classify the different dark spots detected in the SAR images as oil spills or environmental occurrences. Although the classification process has been done automatically, the dark spot detection has been done with human intervention. In this context, the objective of this paper is to investigate the two first parts of the processing chain looking for an adequate preprocessing method and the image segmentation software. The future perspective is to develop a completely automatic system.

**Palavras-chave:** synthetic aperture radar (SAR), dark spot detection, segmentation images, radares de abertura sintética (SAR), detecção de alvos escuros, segmentação de imagens.

## 1 – Introdução:

Sistemas para detecção automática de vazamentos de óleo têm sido desenvolvidos para otimizar e auxiliar a interpretação das imagens SAR (Solberg et al., 2005; Solberg, 2005). A cadeia de processamentos considera prioritariamente as áreas oceânicas, emitindo um alarme quando uma região escura, de baixo retroespalhamento, for identificada como uma suspeita de mancha de óleo (Keramitsoglou et al., 2006). Estes sistemas geralmente são compostos por quatro etapas (Figura 1): a) pré-processamento das imagens; b) individualização de regiões escuras nas imagens, utilizando técnicas de segmentação e de agrupamento; c) cálculo de atributos para cada região escura detectada, e; d) classificação das regiões escuras como óleo e/ou evento assemelhado com base nos atributos calculados (Brekke & Solberg, 2005).

Estudos concluídos por Bentz (2006) disponibilizaram um método automático para classificação de regiões escuras detectadas em imagens SAR. Todavia, para que a cadeia de processamentos torne-se de fato operacional, são necessários estudos que indiquem um método igualmente automático para a individualização das dos regiões escuras (Bentz, 2006; Bentz *et al.*, 2007).

Neste contexto, o trabalho proposto considera as duas primeiras etapas integrantes de um sistema de detecção automático de óleo com o objetivo de: a) na etapa de pré-processamento das imagens, investigar a resolução espacial, filtro e janela mais adequados, e; b) na etapa de

detecção de regiões escuras, avaliar dois segmentadores implementados nos *softwares* MultiSeg (Sousa, 2005; Sousa *et al.*, 2005) e SPRING (Câmara *et al.*, 1996; Bins *et al.*, 1996). Espera-se que os resultados obtidos nas etapas investigadas indiquem parâmetros ótimos que possam ser considerados como padrão para que o sistema seja utilizado automaticamente em um futuro próximo, acoplando todas as etapas envolvidas.

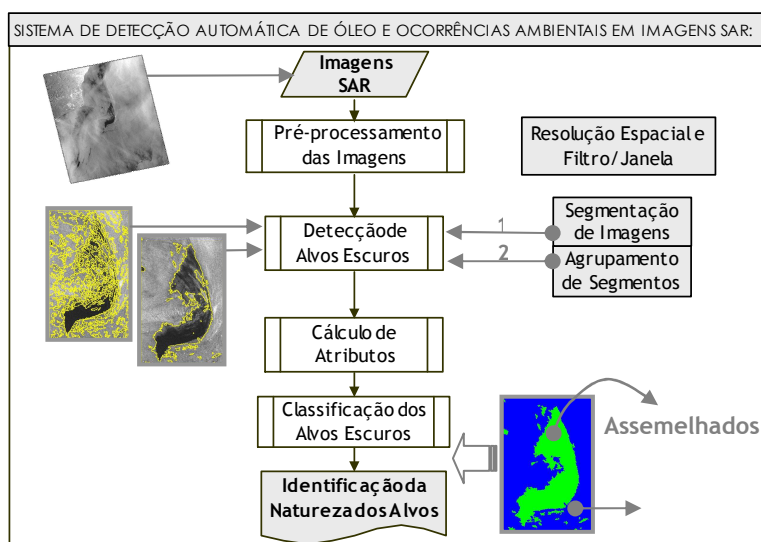


Figura 1 – Etapas de um sistema de detecção automático de óleo e assemelhados.

## 2 – Informações Técnicas: Produtos RADARSAT

O sistema de monitoramento operante na PETROBRAS utiliza imagens provenientes dos RADARes de Abertura Sintética (SAR) a bordo do RADARSAT-1 e do RADARSAT-2 nos modos de imageamento *ScanSAR Narrow* e *ScanSAR Wide*. Ambos os satélites fornecem amplas áreas de cobertura, imageamento diurno e noturno, sem interferência de nuvens e com ângulos de incidência apropriados para a detecção de ocorrências ambientais diversas.

Para garantir o caráter operacional da atividade os produtos são entregues no formato compactado *MrSid* (*Multi-resolution Seamless Image Database*), pois o tempo gasto para o *download* do formato bruto CEOS é significativamente maior (35min) do que o tempo gasto para o *download* dos dados no formato *MrSid* (segundos). Complementarmente, os dados no formato *MrSid* são entregues georreferenciados, filtrados e com correção do padrão de antena, processamentos necessários para a utilização dos dados no formato CEOS.

O estudo realizado utilizou um recorte de uma cena RADARSAT-1 (1671 linhas X 922 colunas) obtida em 03/04/2002 no modo *ScanSAR Narrow* com resolução espacial de 50m, largura de faixa de 300km, polarização *HH*, número de *looks* igual a 4 entregue em 8 bits no formato compactado *MrSid* (Figura 2). Importante destacar que, embora a cena utilizada seja proveniente do satélite RADARSAT-1, os resultados obtidos serão aplicáveis para imagens RADARSAT-2, pois ambos os sensores possuem as mesmas configurações.

## 3 – Metodologia

### 3.1 – Pré-processamento dos Produtos RADARSAT-1 e 2

#### 3.1.1 – Determinação da Resolução Espacial

Diversos autores consideram 100m uma resolução espacial adequada para a detecção de óleo na superfície do mar em imagens SAR (Bentz, 2006; Keramitsoglou *et al.*, 2006; Brekke & Solberg, 2005). Neste trabalho foram investigados os efeitos da utilização de diferentes

resoluções espaciais (50m, 100m, 150m e 200m) na detecção de regiões escuras em imagens SAR.

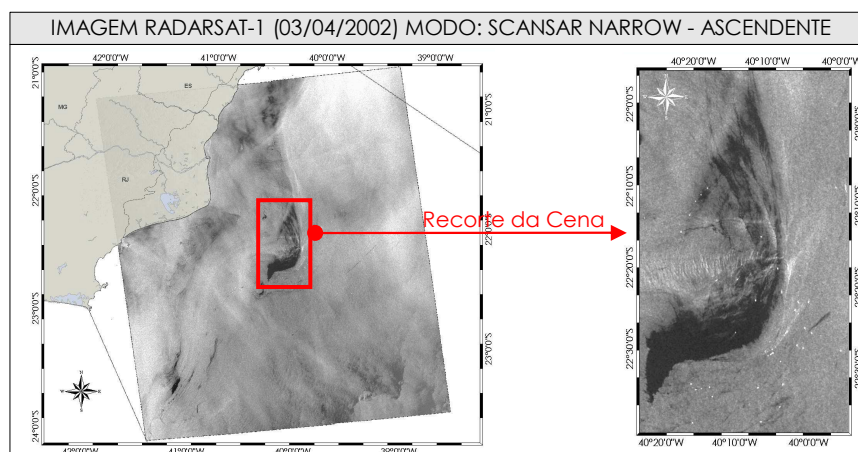


Figura 2 – Recorte da cena RADARSAT-1 (03/04/2002) utilizada no estudo proposto.

O recorte da cena RADARSAT-1 com 50m de resolução espacial foi reamostrado para 100m, 150m e 200m utilizando o método de reamostragem por vizinho mais próximo no *software* ENVI. Estas imagens foram segmentadas no *software* MultiSeg, escolhido por ser gratuito e desenvolvido para imagens de RADAR. Os segmentos gerados para cada resolução foram agrupados em duas categorias, regiões escuras e claras, considerando como atributo a média dos níveis de cinza (NC) para cada segmento. Finalmente, comparando-se as métricas de avaliação calculadas para as regiões escuras detectadas automaticamente nas diferentes resoluções com as métricas calculadas para as regiões escuras consideradas como referência (*Phanton*<sup>1</sup>), foi avaliada a resolução espacial mais adequada. As métricas de avaliação consideradas foram: (a) número de segmentos gerados pela segmentação; (b) tempo de processamento; (c) percentual de omissão de alvos escuros; (d) percentual de polígonos detectados; (e) ajuste de forma (Gforma): interseção entre os polígonos detectados e os polígonos do *Phanton*; (f) ajuste de intensidade (Fiti): razão entre a média dos NC associados aos polígonos detectados pela segmentação e pelo *Phanton*; (g) ajuste de posição (Fitxy): compara o posicionamento dos centróides dos polígonos gerados pela segmentação com o posicionamento dos centróides dos polígonos definidos no *Phanton*; (h) ajuste de tamanho (Fitn): somatório do número de *pixels* dos polígonos gerados no *Phanton* menos o somatório do número de *pixels* dos polígonos gerados pela segmentação divididos pelo somatório de *pixels* componentes dos polígonos gerados pelo *Phanton* e pela segmentação, e ; (i) distância euclidiana considerando as métricas descritas nos itens (e), (f), (g) e (h) ( $d\epsilon = \sqrt{(e-1)^2 + (f-1)^2 + (g-1)^2 + (h-1)^2}$ ). Informações detalhadas sobre as métricas utilizadas para avaliação podem ser consultadas em Delves *et al.* (1992) e Scofield *et al.* (2007).

No *software* MultiSeg o modo *Cartoon* foi utilizado por processar mais rapidamente as imagens (2min) em relação ao modo *Texture* (30min). Este modo exige como parâmetros a serem definidos pelo usuário: a) área mínima: número mínimo de *pixels* que o menor segmento pode ter; b) número equivalente de *looks* (Nel), e; c) limiar de similaridade (LS).

**Área Mínima:** De acordo com Bentz (2006), durante dois anos de monitoramento, a mínima área detectada como mancha de óleo em imagens de SAR foi de 0,45km<sup>2</sup>. Como parâmetro de entrada para o segmentador a área mínima foi definida como 0,25km<sup>2</sup>, permitindo a detecção de áreas ainda menores que possam estar associadas com prováveis vazamentos de óleo no mar. O parâmetro de área mínima em *pixels* varia de acordo com a

<sup>1</sup> Os polígonos de referência denominados *Phanton* foram elaborados manualmente e representam a experiência do intérprete.

resolução espacial da imagem a ser segmentada. Para a resolução de 50m são necessários 100 *pixels*, para a resolução de 100m são necessários 25 *pixels*, para a resolução de 150m são necessários 11 *pixels* e para a resolução de 200m são necessários 6 *pixels* como área mínima.

**Número Equivalente de Looks (Nel):** A compactação da imagem no formato *MrSid* altera as propriedades estatísticas das imagens de RADAR, impossibilitando o cálculo do Nel da imagem. Como o Nel é menor ou igual ao número de *looks* (NI) da imagem e o NI da cena estudada é 4, segmentações foram testadas com valores de Nel 2, 3 e 4. Quanto maior o Nel maior o número de segmentos produzidos, conseqüentemente, o Nel 4 foi considerado como parâmetro mais adequado uma vez que aumenta a possibilidade de detectar um alvo escuro em imagens SAR.

**Limiar de Similaridade (LS):** O LS utilizado neste trabalho foi a metade da diferença entre a média dos NC dos alvos claros (oceano) e a média dos NC dos alvos escuros (óleo e/ou ocorrências ambientais) em decibéis (dB). Para calcular este parâmetro primeiramente foi realizada uma segmentação supervisionada no *software* ENVI<sup>2</sup> onde o intérprete definiu o melhor limiar de corte (ND=28) que permitisse ao segmentador detectar os polígonos mais representativos para os alvos escuros identificados na imagem.

Ao invés de utilizar a média dos NC de todos os *pixels* constituintes dos alvos claros e escuros utilizou-se a média dos NC dos *pixels* adjacentes às bordas identificadas entre os alvos claros e escuros, considerando a relação espacial existente entre estes alvos. Para tal, a segmentação realizada no ENVI foi utilizada como uma máscara para gerar uma borda ao redor dos alvos escuros contidos na imagem. Ao redor desta borda um *buffer* com raio de 1 *pixel* para dentro e para fora foi criado. Este *buffer* foi utilizado como máscara para extrair a média dos NC das áreas limítrofes claras ( $\bar{X}_{AClaras}$ ) e escuras ( $\bar{X}_{AEscuras}$ ) identificadas na imagem. O limiar de similaridade foi calculado em dB (Equação 1) conforme proposto em Souza (2005):  $LS = 10 \log_{10} \bar{X}_{AClaras} - 10 \log_{10} \bar{X}_{AEscuras} / 2$  (1)

### 3.1.2 – Determinação do Filtro/Janela

Após a determinação da resolução espacial mais adequada foram testados os filtros Frost, Enhanced Frost, Lee, Enhanced Lee, Kuan, Gamma, Sigma, Média e Mediana, todos aplicados considerando as dimensões das janelas de 3x3, 5x5 e 7x7. As imagens sem filtro e filtradas foram segmentadas e avaliadas comparativamente com o *Phanton* seguindo a metodologia descrita no item 3.1.1. Como resultado pretende-se verificar se a aplicação de um filtro na fase de pré-processamento das imagens oferece melhoria significativa nos resultados da segmentação e qual dos filtros/janela oferece melhor resultado.

### 3.2 – Determinação do Segmentador

O recorte da cena RADARSAT-1 processado com a resolução espacial e o filtro/janela mais adequados - ambos determinados nas etapas anteriores - foi segmentado nos *softwares* MultiSeg e SPRING. Os polígonos resultantes das segmentações foram agrupados e avaliados comparativamente com os polígonos do *Phanton* seguindo a metodologia descrita no item 3.1.1. Os parâmetros utilizados para segmentar a imagem no SPRING são os mesmos utilizados para as segmentações realizadas no MultiSeg, todavia o LS é convertido de dB para amplitude 8bits (0~255).

## 4 – Resultados e Discussões:

---

<sup>2</sup> O segmentador do ENVI utiliza técnicas de *Threshold* e filtragem aplicadas com base em um limiar de corte definido supervisionadamente pelo intérprete.

#### 4.1 – Determinação da Resolução Espacial

Analisando-se as métricas calculadas, é notável que a diminuição gradativa da resolução espacial provoca uma redução na capacidade de detecção de pequenas feições, bem como modificações no contorno das feições (Figura 3). Neste sentido, não restaria dúvidas de que a melhor resolução espacial a ser adotada em um sistema automático para detecção de óleo e ocorrências ambientais seria 50m. Todavia, o custo computacional exigido para se processar um recorte da imagem com esta resolução é muito maior do que para uma imagem de 100m, constatado pela redução de 84% do tempo de processamento (Tabela 1). Esta diferença no tempo de processamento pode inviabilizar o uso operacional uma vez que o tamanho de uma cena RADARSAT completa (8413linhas x 7873colunas) é significativamente maior do que para o recorte de cena utilizado (1671linhas x 922colunas). Outra evidência que reforça a utilização da resolução espacial de 100m é a recepção das imagens também no *ScanSAR Wide* (100m), sendo aconselhável padronizar a resolução de entrada das imagens. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos para as segmentações, os agrupamentos e os erros de omissão e de inclusão.

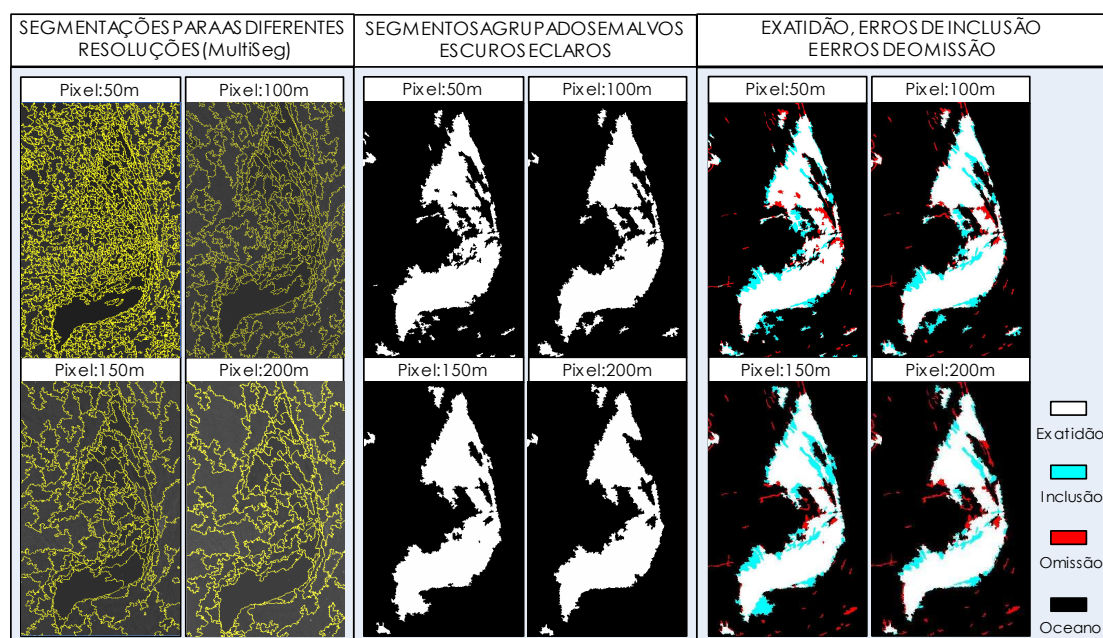


Figura 3 – Resultados obtidos para as diferentes resoluções espaciais avaliadas.

A máxima detecção de regiões escuras é importante para o sistema automático, visando minimizar o risco de que uma possível mancha de óleo não seja detectada e, conseqüentemente, as ações de contingenciamento sejam prejudicadas. De acordo com as métricas calculadas (Tabela 1), desconsiderando a resolução de 50m, a resolução de 100m ofereceu a maior detecção de regiões escuras sendo, portanto, considerada a mais adequada.

Tabela 1 – Métricas utilizadas para avaliação das diferentes resoluções espaciais.

Resoluções Avaliadas	No de Segmentos	Tempo de Processamento	Inclusão de Alvos Escuros	%	Omissão de A Escuros	%	Intersecção de Polígonos	%	G forma	Fitxy	Fiti	Fitin	Dist. Euclidiana
P50:	873	3,32min	147,14	0,18	69,73	0,09	15	0,45	0,78	0,98	1,00	0,92	0,24
P100:	289	0,47min	154,89	0,19	70,83	0,09	7	0,21	0,77	0,93	0,90	0,33	0,72
P150:	180	0,19min	194,20	0,23	68,13	0,08	6	0,15	0,74	0,91	0,90	0,31	0,75
P200:	124	0,11min	124,40	0,15	97,48	0,12	4	0,11	0,77	0,90	0,83	0,20	0,85

A resolução de 150m, embora tenha tido um menor erro de omissão em relação à resolução de 100m, apresentou um maior erro de inclusão e um menor número de regiões escuras detectadas. A resolução de 200m teve menor erro de inclusão, todavia, um maior erro de omissão e conseqüentemente o menor número de regiões escuras detectadas.



## 4.2 – Determinação do Filtro/Janela

Foram utilizados 9 filtros aplicados com 3 dimensões de janela (3x3, 5x5 e 7x7), totalizando 27 imagens filtradas com diferentes janelas. Os filtros foram aplicados no recorte RADARSAT-1 com 100m de resolução espacial - definida como mais adequada no item 4.1 - e comparados através das métricas definidas no item 3.1.1 com o *Phanton* para 100m. O número de regiões escuras detectadas em relação as regiões escuras consideradas como referência no *Phanton* variou de 4 a 7 entre as 27 imagens filtradas. Considerando que, para a aplicação em questão, o importante é não deixar de detectar um possível vazamento de óleo, foram analisados os filtros com detecção mínima de 7 regiões escuras.

Dentre as métricas consideradas (Tabela 2), o tempo de processamento não apresentou variação significativa, sendo desconsiderado como parâmetro para seleção do filtro/janela mais adequado à aplicação. O erro de omissão foi praticamente o mesmo para todos os resultados (0,09%), enquanto que o menor erro de inclusão foi de 0,19% para a imagem sem filtro e para os filtros Lee (3x3) e Mediana (3x3). A Distância Euclidiana também apresentou pouca diferença sendo as menores distâncias (0,27) verificadas para os filtros Lee (3x3) e Mediana (3x3).

Tabela 2 – Métricas utilizadas para avaliação dos diferentes filtros/janela.

Filtros/Janelas Avaliados	No de Segmentos	Tempo de Processamento	Inclusão de Alvos Escuros	%	Omissão %	Intersecção de Polígonos	%	G forma	Fitxy	Fiti	Fitin	Dist. Euclidiana	
Sem Filtro	289	0,47 min	154,89	0,19	70,83	0,09	7	0,21	0,77	1,00	0,86	0,88	0,30
Lee 3x3	287	0,45 min	157,33	0,19	70,76	0,09	7	0,21	0,77	1,00	0,88	0,96	0,27
Mediana 3x3	281	0,41 min	157,45	0,19	72,76	0,09	7	0,21	0,77	1,00	0,87	0,97	0,27
Sigma 3x3	281	0,46 min	162,76	0,20	72,89	0,09	7	0,21	0,76	1,00	0,88	0,92	0,28
Kuan 3x3	274	0,41 min	185,78	0,23	66,42	0,08	7	0,21	0,75	0,99	0,87	0,91	0,30

Com base nestes resultados, considerando o recorte de cena e a natureza do alvo processado, não foi verificado ganho significativo na detecção de regiões escuras com a aplicação de filtros com diferentes janelas. Uma evidência desse resultado foi a detecção do mesmo número de regiões escuras (7) utilizando a imagem sem filtro e com filtragem (Tabela 2 e Figura 4). A Figura 4 apresenta, para a imagem sem filtro e para a imagem filtrada com o Lee 3x3, os resultados para as segmentações, os agrupamentos e os erros de omissão e de inclusão.

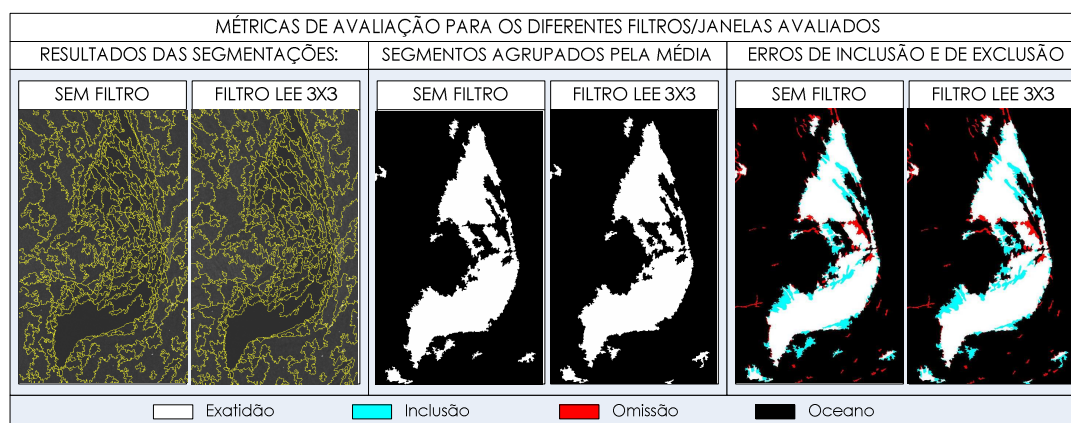


Figura 4 – Resultados obtidos para a imagem sem filtro e com filtro Lee 3x3.

Embora um ganho significativo não tenha sido observado os melhores filtros foram o Lee (3x3) e o Mediana (3x3). Dentre estes filtros, o Lee (3x3) seria mais indicado por ser um filtro específico para suavização de ruído em imagens SAR. Todavia, considerando que a simplicidade da cadeia de processamentos potencializa operacionalidade e a eficiência computacional de um sistema automático de detecção, optou-se por não aplicar filtro no recorte de cena para avaliar o segmentador mais adequado.

### 4.3 – Determinação do Segmentador

O recorte de cena com 100m de resolução e sem filtragem foi segmentado com parâmetros equivalentes (AM e LS) nos *softwares* MultiSeg e SPRING, sendo o LS utilizado em dB para o MultiSeg e em amplitude para o SPRING. Os resultados (Figura 5 e Tabela 3) evidenciaram que, embora o erro de omissão tenha sido maior para a segmentação do SPRING este *software* foi o que conseguiu detectar o maior número de regiões escuras em comparação com o *Phanton*. Este maior potencial está relacionado ao maior número de segmentos obtido pela segmentação do SPRING quando comparado com o MultiSeg (Tabela 3).

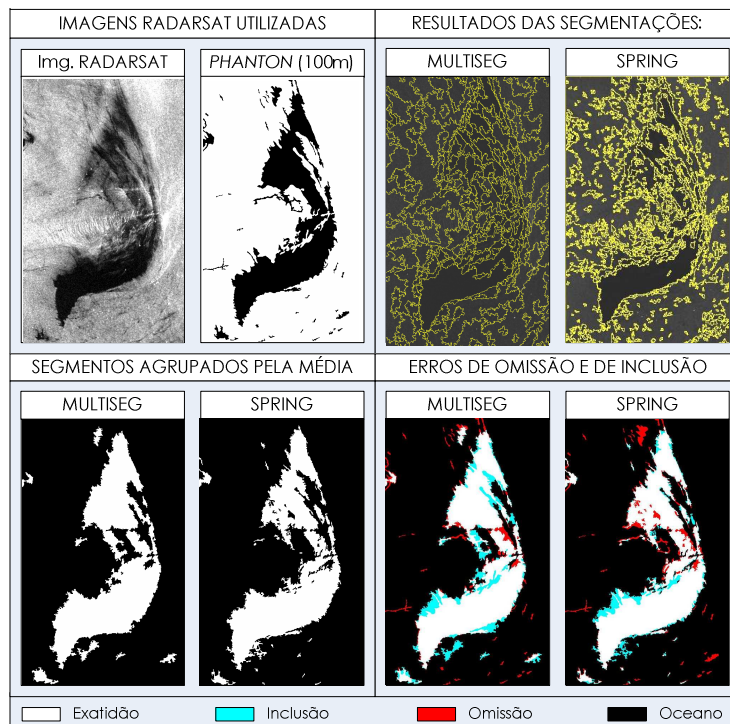


Figura 5 - Resultados obtidos para os diferentes segmentadores avaliados.

A menor distância euclidiana (Tabela 3), também observada para a segmentação gerada pelo SPRING, indica este *software* como o mais eficiente para a detecção de regiões escuras. Todavia é importante salientar que os resultados apresentados consideram apenas um dentre uma diversidade de tipos de alvos escuros, com geometrias e texturas variadas detectáveis em imagens SAR.

Tabela 3 – Métricas utilizadas para avaliação dos diferentes segmentadores.

Segmentador	Limiar Similaridade	No de Segmentos	Tempo de Processa/to	Inclusão de Alvos Escuros	% Omissão	% Intersecção de Polígonos	%	G forma	Fityx	Fiti	Fitin	Dist. Euclidiana		
<b>Multiseq:</b>	4,5 dB	289	0,47min	154,89	0,19	70,83	0,09	7	0,21	0,89	0,95	0,84	0,39	0,99
<b>SPRING:</b>	4 Amplitude	580	7seg	99,55	0,12	96,35	0,12	13	0,39	1,00	1,00	1,00	0,99	0,80

Estes resultados evidenciam a importância da continuidade dos estudos em desenvolvimento para obter uma avaliação mais robusta e estatisticamente significativa sobre os segmentadores utilizados. A Figura 5 apresenta os resultados das segmentações, dos agrupamentos e os erros de omissão e de inclusão.

### 5 – Conclusões e Perspectivas Futuras

No que se refere a etapa de pré-processamento das imagens, o estudo realizado indicou a resolução espacial de 100m como a mais adequada para o sistema automático de detecção de óleo e ocorrências ambientais. Esta escolha reflete a diferença no tempo de processamento e a

recepção de imagens com 100m de resolução, padronizando a resolução de entrada das imagens. De acordo com as métricas calculadas, a aplicação de filtragem na imagem não resultou em melhorias significativas na geometria das regiões escuras detectadas quando comparados com o *Phanton*. Desta forma, a recomendação seria simplificar e otimizar a cadeia de processamentos não aplicando filtragem nas imagens.

Considerando a cena processada, o segmentador que detectou as regiões escuras na cena com maior proximidade da referência elaborada no *Phanton* foi o SPRING. Provavelmente este fato ocorreu porque a cena utilizada perdeu as características típicas de uma imagem RADAR devido a compressão realizada pelo formato *MrSid*. Embora os resultados apresentados sejam um primeiro indicativo, não são conclusivos quanto à indicação do segmentador mais adequado para a detecção automática de regiões escuras em imagens SAR. Para tal, estudos mais detalhados, considerando diferentes alvos escuros e metodologias para o cálculo de parâmetros de segmentação que possam ser aplicadas de forma padronizada às imagens, estão sendo desenvolvidos. A mesma afirmação é válida para a aplicação de filtragem nas imagens, pode ser que para o tipo de alvo estudado os filtros não representaram ganho para detecção de regiões escuras, todavia alvos com geometrias diferenciadas podem apresentar resultados diferentes dos obtidos após a filtragem.

Como perspectivas futuras pretende-se testar o segmentador MultiSeg em sua versão óptica, ou em sua versão para imagens de radar utilizando imagens não comprimidas. Pretende-se também realizar estudos mais detalhados sobre a influência da aplicação de filtragem e a utilização de diferentes segmentadores na detecção de alvos escuros diversos em imagens SAR. Com base nestes estudos, pretende-se definir os parâmetros adequados a serem adotados como padrão, a fim de automatizar todas as etapas envolvidas em um sistema para detecção de óleo e ocorrências ambientais.

## Referência Bibliográfica

- Bentz C. M., Ebecken N. F.F., Politano A. T. Identificação automática de eventos ambientais costeiros e oceânicos detectáveis em imagens de radares orbitais. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Abril de 2007.
- Bentz, C. M. Reconhecimento Automático de Eventos Ambientais Costeiros e Oceânicos em Imagens de Radares Orbitais [Rio de Janeiro], XIII, 115 p., COPPE/UFRRJ, D.Sc., Engenharia Civil, 2006.
- Bins, L., L. Fonseca, and G. Erthal. Satellite Imagery Segmentation: a region growing approach. in VIII Brazilian Symposium on Remote Sensing. São José dos Campos, BR: INPE, 1996.
- Brekke C., Solberg A. H. S. oil spill detection by satellite remote sensing – Review. Remote Sensing of Environment (95), pp 1-13, 2005.
- Câmara, G., et al., SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling. Computers and Graphics, 15(6): p. 13-22, 1996.
- Delves, L.M.; Wilkinson, R.; Oliver, C.J.; White, R.G. Comparing the performance of SAR segmentation algorithms. International Journal of Remote Sensing, v. 13, n. 11, p. 21221-21249, 1992.
- Keramitsoglou I., Cartalis C., Kiranoudis C. Automatic Identification of oil spills on satellite images. Environmental Modelling & Software (21), pp 640-652, 2006.
- Scofield G. B., Sant’Anna S. J. S., Freitas C. C., Dutra L. V., Luciano Vieira Dutra. Avaliação quantitativa do SegSar através de medidas de borda e regiões em imagens ópticas sintéticas. Anais - XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Abril/2007.
- Solberg A., Clayton P., Indregard M. D2 – Report on benchmarking oil spill recognition approaches and best practice. Kongsberg Satellite Services – Norway Archive No.: 04-10225-A-Doc, Issue/Revision : 2.1, 2005.
- Solberg, A. Automatic Oil Apill Detection Based on ENVISAT, RADARSAT and ERS Images. Proceedings of the ENVISAT & ERS Symposium, Salzburg, Austria, ESA SP-572, 2005.
- Sousa Jr, M. A. Segmentação multi-níveis e multi-modelos para imagens de radar e ópticas. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2005.
- Sousa Jr, M. A.; Dutrs, L. V.; Freitas, C.C. Segmentação de Imagens JERS e TM/Landsat usando o Segmentador Incremental Multi-níveis SegSAR. Anais XIISimpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia - Brasil, 2005.