

Detecção de alvos na superfície do mar em imagens SAR orbitais: verificação de conceitos

Rafael Lemos Paes^{1,2}
João Antonio Lorenzetti²
Douglas Francisco Marcolino Gherardi²

¹ Instituto de Estudos Avançados – IEAv
Caixa Postal 6044 – 12228-840 – São José dos Campos – SP, Brasil
rlpaes@ieav.cta.br

² Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{rlpaes, loren,douglas}@dsr.inpe.br

Abstract. Brazil has a huge legal sea area named as Blue Amazon. Difficulties to survey such area only with ships and aircrafts from Armed Forces leads toward to a search for new efficient methods. Synthetic Aperture Radar (SAR) images from satellites provide the possibility to acquire information about maritime vessel traffic systematically, anytime and for several weather conditions. For automatic ship detection, the Constant False Alarm Rate (CFAR) detector was chosen. Handled image was calibrated to sigma-naught values, after converted to digital number. It has 8 bits and it's in amplitude. The spatial autocorrelation was checked in range (horizontal) and in azimuth (vertical) directions. Equivalent Number of Looks was estimated by the moments' method. Hence, two CFAR structures schemes were applied, as well as suggested thresholds from literature. Finally, detected targets positions were compared to Automatic Information System (AIS) data – ground truth – to observe the number of false alarms.

Palavras-chave: constant false alarm rate (CFAR), ship detection, taxa constante de falso alarme, detecção de navios.

1. Introdução

O termo Amazônia Azul foi criado para ressaltar o tamanho e a importância da área jurisdicional oceânica brasileira. Recursos minerais e biológicos nela presentes necessitam ser vigiados, seja por razões de preservação ou por razões econômicas. O Brasil possui intenso tráfego marítimo ao longo de sua costa. Este tráfego mercante escoas as produções nacionais e sua intensidade reflete o saldo da balança comercial nacional. Esta vigilância tem, também, como finalidade cumprir com obrigações internacionais de prestar assistência à salvaguarda da vida humana no mar. As dificuldades de realizar tais tarefas apenas com meios aeronavais remetem à busca por métodos operacionais mais eficientes. O monitoramento em conjunto com as imagens de satélites mostra-se bastante eficiente e tem respaldo em vasta literatura científica (Crisp, 2004). As ameaças modernas apontam para atos de terrorismo e pirataria marítima. Tais atos têm ocorrido ao redor do mundo, o que reforça a importância e necessidade deste tipo de aplicação de sensoriamento remoto.

A utilização de sensores SAR para este propósito justifica-se pelo fato de que nesta porção do espectro eletromagnético as condições atmosféricas (nuvens) praticamente não interferem (obstrução) a realização do imageamento. Outro fato importante é que esta tecnologia não depende de iluminação solar. Quesito importante para o monitoramento constante de um ambiente muito dinâmico. As plataformas orbitais foram escolhidas em função de sua capacidade de cobrir extensa área em apenas uma imagem e à sua capacidade de revisita. Portanto, estas características permitem um monitoramento regular da Zona Econômica Exclusiva brasileira.

A área Rio de Janeiro (a região em frente à Baía de Guanabara e a Bacia de Campos) foi escolhida por ser uma região de confluência de navios que trafegam tanto em direção ao hemisfério norte quanto ao sul, cruzando o oceano Atlântico ou apenas em navegação de cabotagem ao longo da costa. Esta característica assegura uma alta probabilidade de obter satisfatório número de navios em uma mesma imagem.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Procedimentos adotados

A imagem utilizada está em amplitude e possui 8 bits de quantização. Como primeiro passo, calibra-se a imagem para valores de σ^0 . Após este processo, realiza-se uma nova conversão dos valores de dB para Número Digital (ND), para que se possa trabalhar estatisticamente com a imagem. Verifica-se a autocorrelação espacial da imagem. A Figura 2 mostra isto em dois sentidos: range (horizontal) em azimuth (vertical).

O próximo passo é aplicar as algumas configurações de estruturas para o detector CFAR e alguns limiares, conforme proposto por Eldhuset (1996) e por Wackerman (2000). Estes dois autores assumem gaussianidade dos dados e suas estruturas serão descritas na subseção a seguir.

Por fim, os alvos detectados na imagem são comparados com as verdades de campo, cujas fontes e métodos serão descritos em subseção apropriada.

A Figura 1 mostra o esquema geral dos procedimentos adotados.



Figura 1. Esquema geral dos procedimentos adotados.

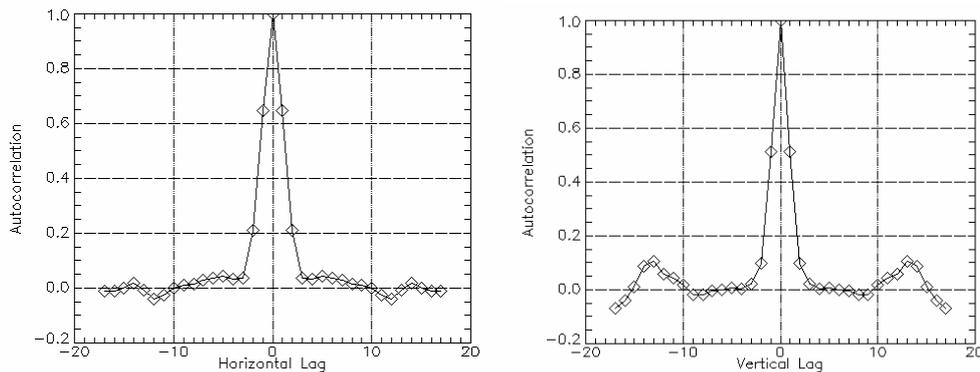


Figura 2. Verificação da autocorrelação espacial em range (horiz) e em azimuth (vert).

2.2 Princípios da detecção de alvos na superfície do mar em imagens SAR

Em Kay (1998), a detecção de alvos supõe duas hipóteses: H_0 (somente *clutter*- que é o *signal indesejado*) e H_1 (*clutter* + sinal do alvo). Inevitavelmente, aparecerão dois tipos de erros: falsos alvos (*clutter* considerado erroneamente como alvo / tipo I) e detecções perdidas (alvos verdadeiros considerados como falsos / Tipo II).

Não é possível eliminá-los por completo, mas pode-se controlá-los fixando um valor para um dos erros, maximizando os resultados esperados. Este é, portanto, o conceito da taxa

constante de falso alarme. Estabelece-se, então, uma taxa constante para os falsos alarmes (*Constant False Alarm Rate – CFAR*).

Como há uma grande variação de região para região nos dados contidos dentro de uma imagem SAR, o algoritmo para a detecção deve ser adaptativo. Isto é, calcula-se um novo limiar para cada porção significativa da imagem, em função da probabilidade de falso alarme (P_{fa}) e da *pdf* adotada.

Na Figura 3 pode ser observado um esquema para duas distribuições hipotéticas que exemplifica a influência dos erros para uma dada situação:

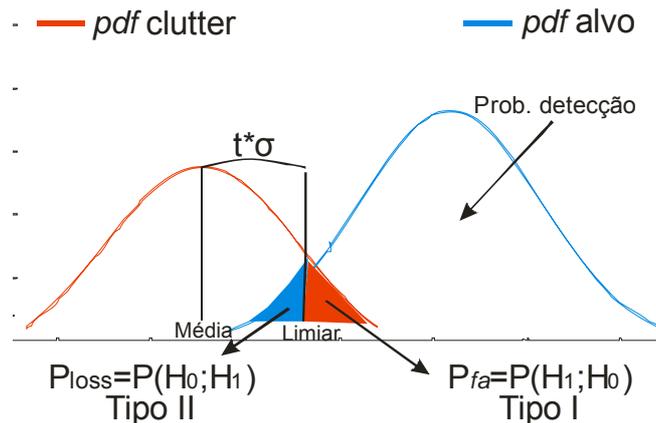


Figura 3. Influência dos erros Tipo I e Tipo II.
Fonte: Adaptado de [López-Estrada et al., 2004].

onde $P_{loss} = P(H_0|H_1)$ é a probabilidade de perda de detecção, quando se considera como falso uma alvo-verdadeiro (erro Tipo II); e $P_{fa} = P(H_1|H_0)$ é a probabilidade de falso alarme, quando se considera como verdadeiro um alvo-falso – um artefato gerado pelo *clutter* ou speckle (erro Tipo I). E, $t*\sigma$ é a distância em unidade de desvio-padrão da média do background para os valores do alvo. Neste caso, o limiar t é o fator determinante desta distância.

2.3 Detector baseado em taxa constante de falso alarme (CFAR)

A estrutura do detector CFAR para imagens SAR consiste basicamente em três janelas que percorrem toda imagem, computando estatísticas: uma janela externa para a verificação do *background*; uma interna para os alvos; e uma intermediária (*buffer*) que serve para evitar que alvos maiores do que a janela interna contamine as estatísticas do *background*. Apesar de utilizar-se o termo “janelas”, estas estruturas são realmente “anéis”. Pois, são “vazadas” e não consideram os pixels das demais estruturas inscritas durante os cálculos estatísticos. A Figura 4 exemplifica estas estruturas.

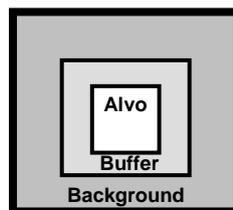


Figura 4. Estrutura “física” do detector CFAR.

Esta estrutura “física” pode variar em função da resolução espacial, conforme proposto por Wackerman et. al. (2000). Todavia, o que caracteriza os tipos de CFAR são as equações que os definem como detectores. Basicamente, existem dois tipos: o *Cell-Averaging* (CA) e o *Two-parameter* (2P). Pode-se definir o CA-CFAR por (1) ou (2) e o 2P-CFAR, por (3) ou (4):

$$x_t > \mu_b t \quad \Leftrightarrow \text{alvo} \quad (1)$$

$$\mu_t > \mu_b t \quad \Leftrightarrow \text{alvo} \quad (2)$$

$$x_t > \mu_b + \sigma_b t \quad \Leftrightarrow \text{alvo} \quad (3)$$

$$\mu_t > \mu_b + \sigma_b t \quad \Leftrightarrow \text{alvo} \quad (4)$$

onde x_t é o valor de cada pixel dentro da janela do alvo, μ_t é média dos pixels dentro da janela do alvo, μ_b é a média dos pixels dentro da janela do background, σ_b é o desvio padrão dentro da janela do background e t é o limiar a ser estabelecido (ou calculado) para determinar quais valores acima deste ponto devem ser considerados como alvos. No caso dos detectores aqui utilizados, este limiar t significa o número de desvios-padrão que o alvo está dos valores do *background*.

2.4 Estrutura e limiares propostos por Eldhuset (1996)

a) Tamanho das janelas:

- Alvo: 10x10 pixels;

- Background: 20x20 pixels.

b) Estatística de detecção

- Média do Background (b):

$$\mu_b = \frac{1}{N_b} \sum \sum x(i, j) \quad (5),$$

onde N_b é o nº de pixels em b e $(i,j) \in b$.

- Desvio-padrão para imagens em amplitude:

$$\sigma_b = \mu_b \sqrt{\frac{\left(\frac{4}{\pi} - 1\right)}{NEL}} \quad (6)$$

- Formação de imagem intermediária:

$$T(i,j) = x(i,j) + x(i,j+1) + x(i+1,j) + x(i+1,j+1) - 4\mu_b \quad (7)$$

- Estatística de detecção:

$$T(i, j) > q\sigma_b \quad (8)$$

Onde q é o limiar previamente definido pelo usuário. Eldhuset (1996) assume gaussianidade dos dados e propõe inicialmente o uso de $q = 5.0$.

2.5 Estrutura e limiares propostos por Wackerman et al. (2000)

a) Tamanho das janelas:

- Alvo: 5x5 pixels;

- Buffer: 7x7;

- Background: 15x15 pixels.

Neste experimento, estes tamanhos de janela foram utilizados devido à intenção de apenas verificar conceitos, apesar de Wackerman et al. (2000) sugerir que o tamanho das janelas deva estar relacionado ao espaçamento entre pixels da imagem.

b) Estatísticas de detecção:

- Média do alvo (μ_t) e do background (μ_b): da mesma forma do que em (9).

- Desvio padrão do background:

$$\sigma_b = \frac{\sigma}{\sqrt{N}} \quad (9)$$

- Estatística de detecção:

$$d = \frac{(\mu_t - \mu_b)}{\sigma_b} \quad (10)$$

Se $d > t$, então há alvo. Caso contrário será *clutter*. Ainda em Wackerman et al. (2000), é recomendado para imagens com espaçamento entre pixels maior ou igual a 50m (imagem Radarsat-1 utilizada) valores para t de 5.5 e de 5.0. E, para valores menores, t de 6.0 e de 5.5.

2.4 Estimação do Número Equivalente de Looks (NEL)

O NEL foi estimado conforme Yanasse et. al. (1993), através do software desenvolvido por Correia (1998). A Figura 5 mostra o resultado da estimação do número equivalente de looks.

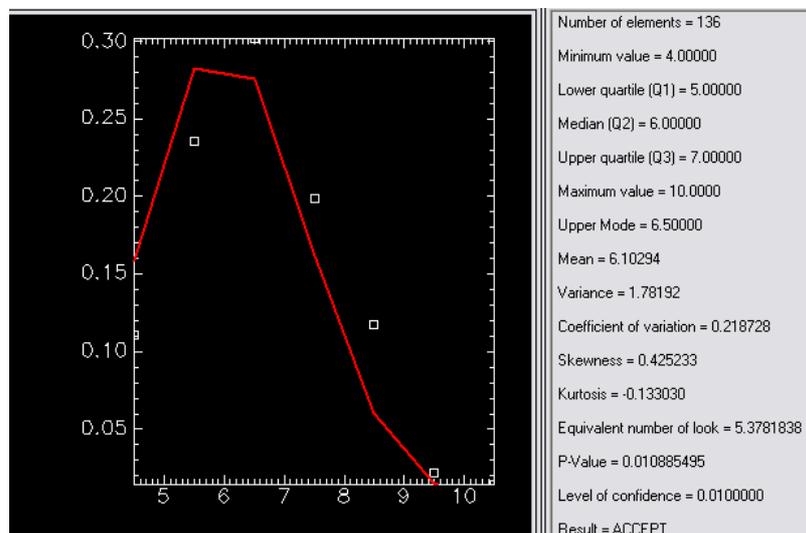


Figura 5. Estimação do número equivalente de looks.

2.5 Características do sensor empregado

A imagem Radarsat-1 foi realizada no dia 20 de novembro de 2007, às 21:15 UTC, na região da Baía de Campos – RJ. O modo utilizado foi o ScanSAR Wide. Havia cobertura significativa de nuvens e o vento estava entre 15 e 25 nós.

O Radarsat-1, satélite lançado pela Agência Espacial Canadense (CSA), também opera na banda C, polarização HH, e possui dois modos ScanSAR: Wide – 500x500km e 100 metros de resolução; e Narrow – 300x300km e 50 metros de resolução espacial.

2.3 Verdades de campo

Como verdade de campo para estas imagens, possui-se informações descritivas e cinemáticas das embarcações presentes na área para o horário do imageamento. Tais informações foram adquiridas através de um voo feito por uma aeronave de patrulha da FAB e através do sistema de identificação automática de navios (AIS), proporcionado pela Marinha do Brasil.

3. Resultados e Discussão

Ao observarem-se os resultados é possível notar que uma inapropriada distribuição estatística influencia negativamente os resultados, por mais que sejam testados diferentes valores de t . Devido aos diversos fenômenos naturais que ocorrem nos oceanos, diferentes situações podem ocorrer em uma mesma imagem, apresentando áreas de background homogêneas e heterogêneas. Além do fato de que as detecções podem ocorrer próximas à costa. Portanto, não basta apenas buscar o melhor limiar. É necessário utilizar uma *pdf* que modele bem o *clutter* marinho a fim de evitar ao máximo os falsos alvos. Além disto, existem etapas antes e depois do processamento que normalmente são empregadas para facilitar a detecção, como: mascaramento da região de terra e a filtragem pós-deteção, respectivamente.

A Figura 6 mostra a imagem original e as Figuras 7 e 8 mostram os resultados de cada método, os quais possuem a maioria de seus alvos detectados coincidindo com as informações AIS.

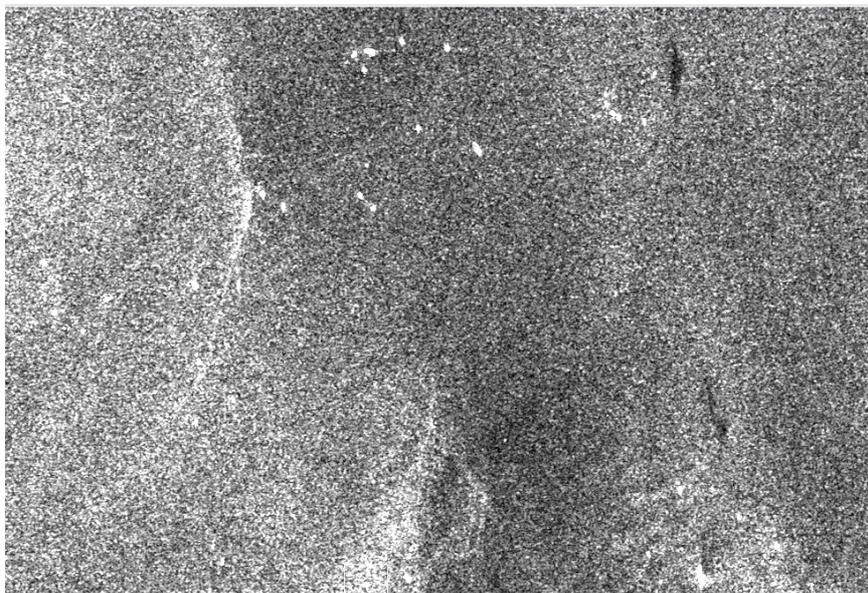


Figura 6. Recorte da imagem Radarsat-1 original.

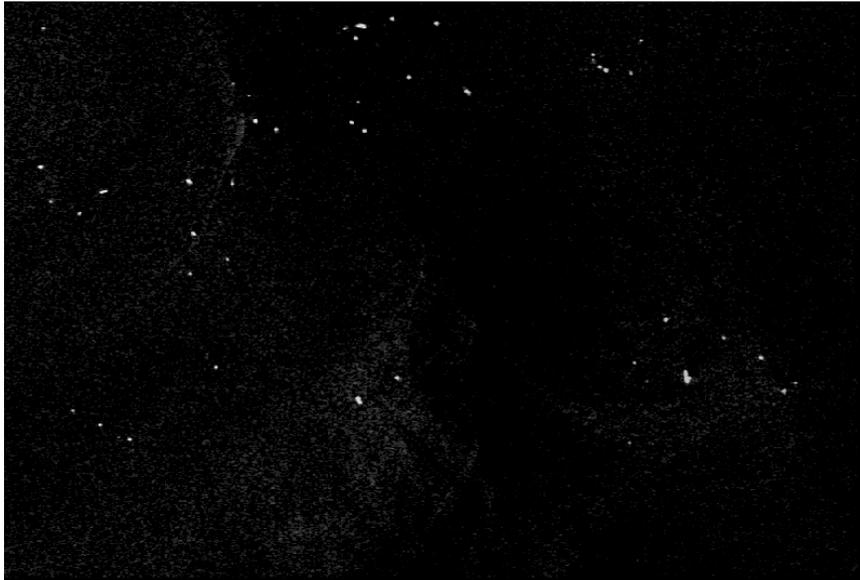


Figura 7. Detector Eldhuset – $q=5.0$



Figura 8. Detector Wackerman – $t=5.5$

4. Conclusões

Como foi utilizada apenas uma imagem para esta verificação de conceitos, não é possível afirmar que qualquer um dos métodos seja mais ou menos eficiente, mesmo sendo admitida gaussianidade dos dados. Porém, a estrutura CFAR e o princípio de explorar a diferença radiométrica entre navios e fundo oceânico mostram-se realmente viáveis e estão em concordância com a literatura. O experimento será repetido em maior número de imagens e o processo será feito baseado em outra distribuição amplamente citada na literatura, a distribuição K.

Uma outra maneira de estabelecer-se a taxa constante de falso alarme é através do estabelecimento de um ponto de corte. Deve-se, no entanto, escolher uma *pdf*, pois será em cima de sua função e da desejada probabilidade de falso alarme que tal limiar (t) será calculado. Oliver & Quegan (1998) apresentam a equação:

$$Pfa = \int_t^{\infty} f(x)dx \quad (8)$$

onde $f(x)$ é a *pdf* do background. Haja vista que, aqui, este limiar t não representa mais uma distanciamento em unidades de desvio padrão. Agora, t significa um ponto de corte na *pdf*, a partir do qual podem ser estabelecidos os valores aceitáveis para haver a detecção dos alvos.

Por fim, como trabalhos futuros, a intenção é utilizar imagens de diferentes satélites/sensores, analisando a influência de suas características (banda, polarização e ângulo de incidência) na detecção de alvos na superfície do mar.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer pela obtenção da imagem, gentilmente cedida, pela Dra. Cristina Bentz (Cenpes – PETROBRÁS). Pela aquisição das verdades de campo, agradecemos à (ao): ao Comando de Operações Navais e ao Comando Controle de Tráfego Marítimo da Marinha do Brasil e à Aviação de Patrulha da Força Aérea Brasileira pela disponibilização de suas aeronaves para a verificação *in loco* do tráfego marítimo existente durante os imageamentos.

Referências Bibliográficas

Canada Centre for Remote Sensing - CCRS. Disponível em: < <http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/> >. Acesso em: 18 setembro 2008.

Correia, A.H.; Projeto, Desenvolvimento e avaliação de classificadores estatísticos pontuais e contextuais para imagens SAR polarimétricas, **Dissertação (Mestrado)**, INPE, 1998. São José dos Campos, SP: INPE, 1999 271305216 (INPE-7178-TDI/679).

Crisp, D.J.; The State-of-the-art in ship detection in synthetic aperture radar imagery, **Defence Science and Technology Organisation – DSTO**. Edinburgh, May 2004.

Eldhuset, K.; An automatic ship and ship wake detection system for spaceborne SAR images in coastal regions, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, vol. 34, No. 4, pp. 1010-1019, Jul 1996.

Kay, S.M.; **Fundamentals of statistical signal processing – Detection theory**, Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, c1998. v.2. (Prentice hall signal processing series). ISBN 0-13-504135-X.

Wackerman, C.; Clemente-Colén, P; Pichel, W; Friedman, K.; Li, X.; Automatic Detection of Ships Using RADARSAT-1 SAR Imagery. In: **Proceedings of the AMRS Workshop in Ship Detection in Coastal Waters**, May 31, 2000, Digby, Nova Scotia.

López-Estrada, S.; Cumplido-Parra, R.; Torres-Huitzil, C.T.; A hybrid approach for target detection using CFAR algorithm and image processing. *Computer Science, 2004. ENC 2004. Proceedings of the Fifth Mexican International Conference in*, México, pp. 108-115. Sep. 2004.

Oliver, C.; Quegan, S.; **Understanding synthetic aperture radar images**, Boston, MA: Artech House, c1998. Único. 479 p. ISBN 0-89006-850-X.