

# Estudo da Influência de Operações Morfológicas em Métodos de Detecção de Mudanças para Imagens SAR de Alta Resolução

Lucas P. Ramos<sup>1</sup>, Victor I. A. Medeiros<sup>1</sup>, Dimas I. Alves<sup>1,2</sup>, Cristian Müller<sup>1,2</sup> e Renato Machado<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Pampa, Alegrete/RS - Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC - Brasil

<sup>3</sup>Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos/SP - Brasil

**Resumo**— Este artigo apresenta um estudo sobre a influência de operações morfológicas em diferentes algoritmos de detecção de alvos para imagens de radar de abertura sintética (SAR) em banda VHF. Para o estudo consideraram-se um algoritmo proposto pela Swedish Defence Research Agency (FOI), uma variação aprimorada deste e um algoritmo iterativo. Para a utilização destes algoritmos fez-se uso de imagens obtidas pelo sistema SAR CARABAS II. Como métricas de avaliação dos algoritmos consideraram-se probabilidade de detecção, e a taxa de falsos alarmes. Como resultado, constata-se a influência das operações morfológicas e da geometria dos elementos estruturantes no desempenho dos algoritmos avaliados.

**Palavras-Chave**— CDA, CARABAS II, VHF-SAR.

## I. INTRODUÇÃO

O conceito de radar de abertura sintética (SAR) foi concebido na década de 1950 por Carl Wiley [1], tornando-se um dispositivo amplamente utilizado para sistemas de sensoriamento remoto. A utilização de sistemas SAR é justificada pelas características destes sistemas de fornecer imagens, independente das condições de luminosidade e condições climáticas, que a região de interesse está submetida [2]. Sistemas SAR são caracterizados por prover imagens com resolução similar aos sistemas de abertura efetiva com antenas de maiores dimensões. Isto ocorre devido ao método de formação da imagem, o qual baseia-se na movimentação relativa entre a plataforma móvel, como aeronaves ou satélites, e a região de interesse.

Sistemas SAR são utilizados em diversas aplicações como por exemplo na: obtenção de mapas topográficos [3], monitoramento do gelo marinho [4], oceanografia [5] e em aplicações militares, como coleta de informações [6], e reconhecimento do campo de batalha [7]. Dentre as aplicações em que os sistemas SAR podem ser empregados, destacam-se os radares de penetração em folhagens (FOPEN), os quais utilizam sinais nas bandas P e *Very-High Frequency* (VHF), o que permite obter uma melhor informação referente a objetos ocultos em

florestas densas, sendo essa uma característica desejável para o monitoramento e detecção de atividades ilegais em regiões de floresta [8].

É neste contexto de aplicação em que está inserida a família de radares suecos *Coherent All Radio Band Sensing* (CARABAS), desenvolvidos desde o início da década de noventa pela SAAB em conjunto com a *Swedish Defence Research Agency* (FOI) [9]-[10]. A banda de frequência utilizada por este sistema permite mapear o volume de biomassa florestal, assim como obter informações de objetos ocultos em florestas densas. Dentre as possíveis aplicações com os dados obtidos pelo sistema VHF SAR, destacam-se os algoritmos de detecção de mudanças (CDA, *Change Detection Algorithm*) [11]. De modo geral, CDAs são utilizados para se identificar diferenças no estado de um objeto qualquer através da sua observação em diferentes instantes de tempo [12]. Os primeiros algoritmos CDA propostos para imagens SAR FOPEN são baseados em razões de verossimilhança [13]-[14]. Além disso, frequentemente, estes algoritmos estão associados com a utilização de um conjunto de operações morfológicas, cujo principal propósito é a redução de falsos alarmes detectados nas imagens.

Este artigo apresenta um estudo sobre a influência das operações morfológicas em algoritmos de detecção de mudanças para imagens SAR VHF UWB. Foram considerados diferentes operações morfológicas aplicadas na análise de detecção, assim como diferentes geometrias e formatos de elementos estruturantes utilizados nas operações. Observou-se que o desempenho dos estudados pode ser bastante alterado em função das operações morfológicas que são consideradas.

O restante deste artigo está organizado da seguinte maneira. A Seção II introduz os algoritmos de detecção de mudança considerados no estudo. A Seção III apresenta os operadores morfológicos utilizados, bem como os diferentes elementos estruturantes considerados. Os resultados de simulação são apresentados e discutidos na Seção IV. Por fim, alguns comentários finais são apresentados na Seção V.

## II. ALGORITMOS DE DETECÇÃO DE MUDANÇA

Nessa seção são apresentados os algoritmos de detecção de alvos propostos em [15], [16] e [17]. É importante salientar

Lucas P. Ramos, lucasp@alunos.unipampa.edu.br; Victor I. A. Medeiros, victorisrael@gmail.com; Dimas I. Alves, dimasalves@unipampa.edu.br; Cristian Müller, cristian.muller@unipampa.edu.br; Renato Machado, rmachado@ita.br. Este trabalho foi realizado com apoio financeiro do Centro de Pesquisa e Inovação Sueco-Brasileiro (CISB) e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

que o conjunto de dados utilizado é o *data set* apresentado em [15], o qual é composto por 24 imagens obtidas com o radar CARABAS II. Mais informação referente a esse conjunto de imagens pode ser obtida em [15].

#### A. Algoritmo CDA proposto pela FOI

O algoritmo CDA proposto pela FOI [15], pode ser descrito conforme o diagrama de blocos simplificado apresentado na Fig. 1. No decorrer desta seção apresenta-se cada um desses blocos, separadamente.

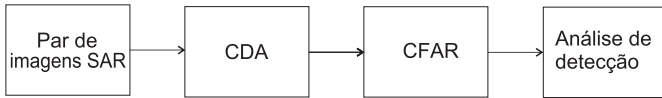


Fig. 1. Diagrama de blocos simplificados do algoritmo de detecção proposto pela FOI.

1) *Change Detection Algorithm - CDA*: Este método baseia-se em um teste de hipótese entre duas imagens obtidas em diferentes aquisições, sendo uma imagem chamada de imagem de interesse, que contém a mudança de interesse, e outra imagem chamada de referência, a qual é utilizada para suprimir o efeito de *clutter* presente na primeira imagem. O CDA proposto em [15] utiliza o teste de razão de verossimilhança com o objetivo de maximizar a probabilidade de detecção. O teste de razão de verossimilhança é dado por:

$$\Lambda = \frac{P(\mathbf{z}|H_1)}{P(\mathbf{z}|H_0)}, \quad (1)$$

em que  $\mathbf{z}$  representa o vetor de sinais recebidos, assumindo dados da imagem de interesse  $\mathbf{z}_i$  e dados da imagem de referência  $\mathbf{z}_r$ ,  $H_0$  representa a hipótese de que não foram verificadas mudanças entre as imagens e  $H_1$  representa a hipótese de que foram verificadas mudanças entre as imagens.

O método de razão de verossimilhança requer um modelo estatístico para as imagens. De modo a simplificar o modelo,

em [14] a contribuição de *clutter* e do ruído na formação da imagem foram modelados como processos Gaussianos complexos circularmente simétricos com média zero [11]. Utilizando a análise e simplificação apresentada em [9]-[15], a razão de verossimilhança pode ser escrita como:

$$\Lambda = \mathbf{I}_d[x, y] = \frac{\mathbf{s}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{z}[x, y]}{|\mathbf{s}^T \mathbf{C}^{-1} \mathbf{s}|}, \quad (2)$$

em que  $\mathbf{s}$  é o vetor que indica a presença de alvo em uma das duas imagens, podendo assumir os valores  $\mathbf{s} = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$  ou

$\mathbf{s} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$ ,  $\mathbf{C}$  é a matriz covariância  $2 \times 2$  estimada a partir de janelas de  $100 \times 100$  pixels, percorrendo as coordenadas  $[x, y]$  da imagem com passos de 10 pixels até que toda a imagem tenha sido percorrida e  $T$  denota a operação de transposição matricial.

2) *Constant False Alarm Rate - CFAR Filter*: Logo após a análise de detecção de mudanças, realiza-se uma normalização através da aplicação de um filtro CFAR (*Constant False Alarm Rate*) com o objetivo de manter uma taxa de falsos alarmes

constantes [18]. Conforme pode ser visto na Fig.2: o filtro CFAR consiste de duas janelas, sendo uma janela externa de tamanho  $31 \times 31$  pixels com uma região de dados provenientes do CDA e uma janela interna de tamanho  $17 \times 17$  pixels com uma região que contém apenas valores nulos, também conhecida como janela de guarda.

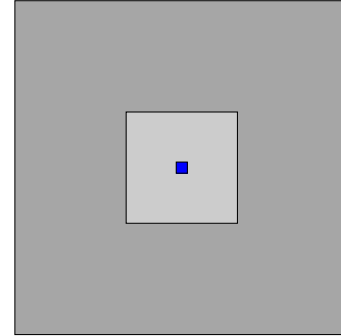


Fig. 2. Diagrama simplificado do filtro CFAR utilizado.

Neste processo, o filtro CFAR tem como pixel central o pixel de interesse. Assim, o novo pixel normalizado será dado por:

$$\mathbf{I}_N[x, y] = \frac{\mathbf{I}_d[x, y] - \mu}{\sigma}, \quad (3)$$

em que  $\mathbf{I}_d[x, y]$  é a amplitude do pixel de interesse e  $\mathbf{I}_N[x, y]$  é a nova amplitude do pixel após essa etapa de filtragem.

3) *Análise de Detecção*: Esta etapa consiste inicialmente em um processo de binarização da imagem, utilizando um threshold (limiar de detecção -  $\text{Th}$ ) constante, onde todo pixel que tiver intensidade maior que o  $\text{Th}$  torna-se 1 caso contrário tornam-se 0.

Após, são utilizadas operações morfológicas, de forma a destacar os pixels que representam alvos, e remover os que representam falsos alarmes. Dentre os diversos tipos de operações morfológicas foram utilizadas: uma operação de abertura, que visa diminuir problemas referentes aos detalhes no formato do alvo, uma operação de erosão, de forma que os pixels isolados sejam ignorados, e por fim duas operações de dilatação para destacar os alvos reais. Cabe ressaltar que as dimensões consideradas para os elementos estruturantes utilizados nas operações morfológicas devem estar em harmonia com a resolução espacial da imagem SAR.

#### B. Filtro CFAR modificado

É proposto em [16] uma modificação no filtro CFAR apresentado em [15], através da adição de uma janela interna ao filtro CFAR, conforme apresentado na Fig. 3. O princípio de funcionamento é semelhante ao apresentado na Seção II-A.2, porém, agora deve-se levar em consideração a informação proveniente da janela adicional. Desta forma, o pixel de interesse passa é submetido a seguinte normalização:

$$\mathbf{I}_{NA}[x, y] = \frac{\mu_v - \mu}{\sigma} \quad (4)$$

em que  $\mu_v$  é o valor médio dos pixels contidos na janela em vermelho, incluindo o pixel de teste.

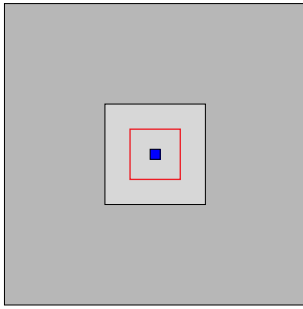


Fig. 3. Diagrama simplificado do filtro CFAR modificado.

Esta modificação baseia-se no fato de que as amplitudes recebidas dos ecos referentes a diferentes posições de um alvo tendem a ser similares. Assim, essa proposta tende a reduzir a taxa de falsos alarmes dado que uma possível flutuação decorrente de algum ruído, não será detectada como alvo pelo fato da média suavizar a amplitude deste pixel. É importante salientar que para este artigo foram testadas todas as janelas propostas por [16], porém foi selecionado apenas a janela de tamanho  $5 \times 5$ . Essa escolha é justificada pelo fato da janela de interesse apresentar o melhor desempenho para uma probabilidade de detecção de aproximadamente 97%. É importante salientar que foram consideradas as mesmas operações morfológicas em todos os algoritmos testados, a saber, uma operação de abertura, uma operação de erosão e duas operações de dilatação.

### C. Algoritmo CDA Iterativo

O algoritmo CDA iterativo proposto em [17] baseia-se em métodos de gráfico de controle (*control chart*), o qual consiste no acompanhamento de um processo através da determinação estatística de seus limiares superiores e inferiores [19]. A partir disso, estes limiares são recalculados a cada iteração do processo. Assim, este algoritmo pode ser descrito pelos seguintes passos:

- Inicialmente, obtém-se a imagem diferença, a partir da combinação das imagens de interesse e de referência. Esta combinação é dada por:

$$\mathbf{I}_i[x, y] = \mathbf{I}_1[x, y] - \mathbf{I}_2[x, y], \quad (5)$$

em que,  $[x, y]$  indicam a posição do pixel analisado.

- Logo após, obtém-se a média ( $\mu$ ) e o desvio padrão ( $\sigma$ ) referente a imagem diferença ( $\mathbf{I}_i$ ).
- Com isso, realiza-se a determinação dos limiares superiores ( $L_S$ ) e inferiores ( $L_I$ ), os quais podem ser escritos como:

$$\begin{aligned} L_S &= \mu + k \cdot \sigma(\mathbf{I}_i) \\ L_I &= \mu - k \cdot \sigma(\mathbf{I}_i) \end{aligned}, \quad (6)$$

em que  $k$  é o limiar de operação. Neste trabalho considera-se o mesmo limiar utilizado pela FOI, i.e.,  $k = 6$ .

- A próxima etapa consiste na avaliação de cada pixel  $[x, y]$  em relação aos limiares obtidos. Caso o pixel não estiver

contido no intervalo  $[L_I, L_S]$ , o mesmo é removido da imagem diferença e o processo retorna para a etapa onde é obtido a média e o desvio padrão com a nova imagem diferença. As etapas deste processo são repetidas até que todo os pixels digitalizados estejam contidos entre os limiares estabelecidos.

- Por fim, cria-se uma imagem binária, com dimensões semelhantes a da imagem diferença, na qual atribui-se o valor 1 para pixels que foram removidos na etapa anterior, e valor 0 para os demais pixels.

Após a realização do algoritmo, utiliza-se operações morfológicas. Para este método, considerando o conjunto de dados do CARABAS II, utilizou-se a mesma configuração das operações morfológicas já citadas, sendo uma operação de abertura, uma operação de erosão e duas operações de dilatação.

### III. ELEMENTOS MORFOLÓGICOS

- **Quadrático:** Elemento estruturante no formato de quadrado, escolhido como caso geral. O elemento de ordem  $N_q = 3$  é dado pela matriz  $H_2$ :

$$H_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Para o E.E. (Elemento Estruturante) quadrado a ordem  $N_q$  diz respeito a ordem da matriz.

- **Diamante:** Elemento estruturante no formato de diamante, escolhido por priorizar os pixels mais próximos ao centro. O elemento de ordem  $N_d = 3$  é dado pela matriz  $H_1$ :

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Para o E.E. (Elemento Estruturante) diamante a ordem  $N_d$  diz respeito a distância entre o ponto central da matriz e os pontos extremos da matriz nos sentidos horizontal e vertical.

- **Cruz:** Elemento estruturante no formato de cruz, escolhido por priorizar pixels nas extremidades diagonais ao centro. O elemento de ordem  $N_x = 3$  é dado pela matriz  $H_4$ :

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Para o E.E. (Elemento Estruturante) cruz a ordem  $N_x$  diz respeito a distância entre o ponto central da matriz e os pontos extremos da matriz nos sentidos diagonal.

#### IV. RESULTADOS

Para fins de estudo dos elementos estruturantes utilizados durante as operações morfológicas dos algoritmos de detecção, foram variadas as dimensões das matrizes,  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$  e  $7 \times 7$ , assim como suas geometrias, quadrático, diamante e cruz. As Tabelas I, II, III apresentam o desempenho dos algoritmos II-A, II-B e II-C para os tamanhos e formatos de elementos estruturantes estudados.

Para fins de comparação com os resultados obtidos em [15], são apresentados nas Tabelas I, II e III, os resultados para  $Th = 6$ , o qual, para o E.E. quadrático, apresentou a mesma taxa de detecção, porém menor taxa de falsos alarmes. Já nas Figs. 4, 5 e 6, podemos observar suas curvas ROC, onde temos marcados os melhores pontos para uma taxa de detecção de aproximadamente 97%.

TABELA I. PARÂMETROS FAR e  $P_d$  OBTIDOS PARA O ALGORITMO PROPOSTO PELA FOI COM DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUTURANTES E  $Th = 6$ .

Geometria	Tamanho	$P_d$	FAR ( $/km^2$ )
Quadrático	$3 \times 3$	0.9700	0.6458
	$5 \times 5$	0.8067	0.0069
	$7 \times 7$	0.1533	0.0000
Diamante	$3 \times 3$	0.9750	0.7014
	$5 \times 5$	0.9583	0.1389
	$7 \times 7$	0.7983	0.0069
Cruz	$3 \times 3$	0.9667	0.3819
	$5 \times 5$	0.7517	0.0000
	$7 \times 7$	0.0917	0.0000

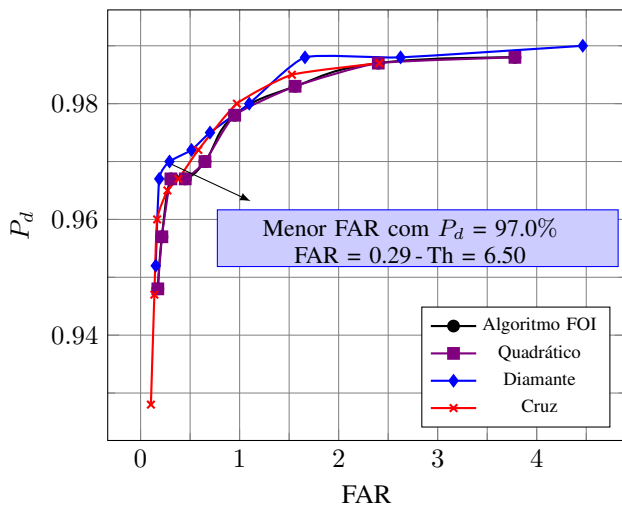


Fig. 4. Comparação das curvas ROC entre os elementos estruturantes quadrático, diamante e cruz de tamanho  $3 \times 3$  aplicados no algoritmo proposto pela FOI.

TABELA II. PARÂMETROS FAR e  $P_d$  OBTIDOS PARA O CFAR MODIFICADO COM JANELA INTERNA DE TAMANHO  $5 \times 5$  EM DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUTURANTES E  $Th = 6$ .

Geometria	Tamanho	$P_d$	FAR ( $/km^2$ )
Quadrático	$3 \times 3$	0.9583	0.1300
	$5 \times 5$	0.8067	0.0000
	$7 \times 7$	0.1700	0.0000
Diamante	$3 \times 3$	0.9567	0.1181
	$5 \times 5$	0.9250	0.0347
	$7 \times 7$	0.7867	0.0069
Cruz	$3 \times 3$	0.9483	0.0900
	$5 \times 5$	0.7033	0.0000
	$7 \times 7$	0.1017	0.0000

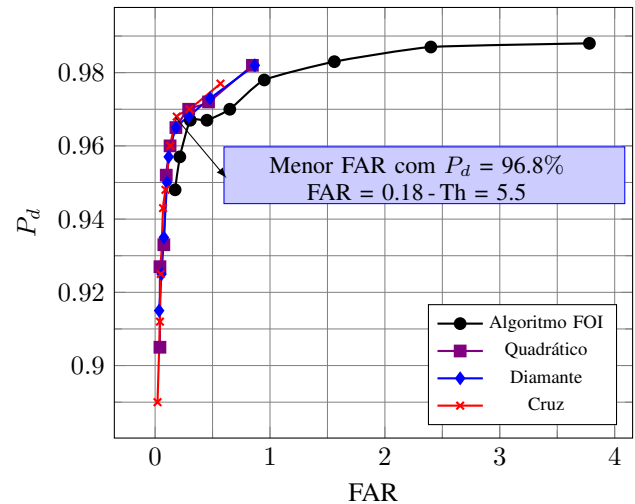


Fig. 5. Comparação das curvas ROC entre os elementos estruturantes quadrático, diamante e cruz de tamanho  $3 \times 3$  aplicados na melhoria proposta no filtro CFAR com a janela interna de tamanho  $5 \times 5$ .

TABELA III. PARÂMETROS FAR e  $P_d$  OBTIDOS PARA O ALGORITMO CDA ITERATIVO COM DIFERENTES ELEMENTOS ESTRUTURANTES E  $Th = 6$ .

Geometria	Tamanho	$P_d$	FAR ( $/km^2$ )
Quadrático	$3 \times 3$	0.9750	0.2014
	$5 \times 5$	0.8083	0.0903
	$7 \times 7$	0.4100	0.0417
Diamante	$3 \times 3$	0.9767	0.2083
	$5 \times 5$	0.9550	0.1736
	$7 \times 7$	0.8083	0.1042
Cruz	$3 \times 3$	0.9733	0.1806
	$5 \times 5$	0.7717	0.0833
	$7 \times 7$	0.3533	0.0417

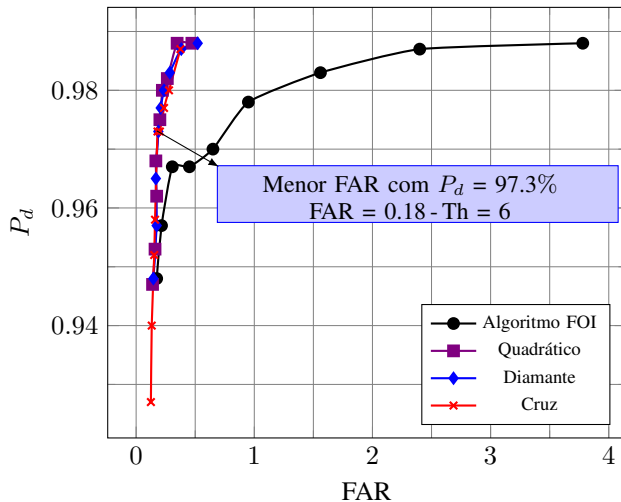


Fig. 6. Comparação das curvas ROC entre os elementos estruturantes quadrático, diamante e cruz de tamanho  $3 \times 3$  aplicados no algoritmo CDA iterativo.

## V. CONCLUSÃO

Este artigo apresentou um estudo sobre o efeito causado pelo uso de diferentes elementos estruturantes em 3 diferentes métodos de algoritmos de detecção de mudanças. Constatam-se melhores resultados quando utilizado o E.E. diamante, porém, o E.E. quadrático e cruz, não ficam tão distantes, consequência da operação de abertura utilizada. O uso desta operação de abertura permitiu diminuir problemas associados

a geometria dos alvos. Também constata-se grande diminuição de falsos alarmes quando comparados com o desempenho dos algoritmos apresentados nas Seções II-A e II-B (Fig. 4 e Fig. 5), assim como aumento na probabilidade de detecção dos algoritmos apresentados nas Seções II-B e II-C (Fig. 5 e Fig. 6).

## REFERÊNCIAS

- [1] C. A. Wiley, "Pulsed doppler radar methods and apparatus," jul 1965, US Patent 3,196,436.
- [2] A. Moreira, P. Prats-Iraola, M. Younis, G. Krieger, I. Hajnsek, and K. P. Papathanassiou, "A Tutorial on Synthetic Aperture Radar," *IEEE Geoscience and remote sensing magazine*, vol. 1, no. 1, pp. 6–43, 2013.
- [9] L. Ulander, P.-O. Frolind, A. Gustavsson, H. Hellsten, T. Jonsson, B. Larsson, and G. Stenstrom, "Performance of the CARABAS-II VHF-band synthetic aperture radar," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2001. IGARSS'01. IEEE 2001 International*, vol. 1. IEEE, 2001, pp. 129–131.
- [3] H. A. Zebker, P. A. Rosen, and S. Hensley, "Atmospheric effects in interferometric synthetic aperture radar surface deformation and topographic maps," *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, vol. 102, no. B4, pp. 7547–7563, 1997.
- [4] M. Pettersson, J. Askne, and D. Cavalieri, "SAR observations of arctic freeze-up compared to ssm/i during arctic'91," *Remote Sensing*, vol. 17, no. 13, pp. 2603–2624, 1996.
- [5] J. F. Vesecky and R. H. Stewart, "The observation of ocean surface phenomena using imagery from the seasat synthetic aperture radar: An assessment," *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 87, no. C5, pp. 3397–3430, 1982.
- [6] R. Schumacher and J. Schiller, "Non-cooperative target identification of battlefield targets-classification results based on SAR images," in *Radar Conference, 2005 IEEE International*. IEEE, 2005, pp. 167–172.
- [7] M. Fennell and R. P. Wishner, "Battlefield awareness via synergistic SAR and MTI exploitation," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 13, no. 2, pp. 39–43, 1998.
- [8] W. L. Melvin and J. Scheer, *Principles of modern radar: radar applications*. Scitech Publishing, 2014.
- [10] A. Gustavsson, P. Frolind, H. Hellsten, T. Jonsson, B. Larsson, and G. Stenstrom, "The airborne VHF SAR system CARABAS," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1993. IGARSS'93. Better Understanding of Earth Environment., International*. IEEE, 1993, pp. 558–562.
- [11] L. M. Ulander, M. Lundberg, W. Pierson, and A. Gustavsson, "Change detection for low-frequency SAR ground surveillance," *IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation*, vol. 152, no. 6, pp. 413–420, 2005.
- [12] A. Singh, "Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data," *International journal of remote sensing*, vol. 10, no. 6, pp. 989–1003, 1989.
- [13] G. Moser and S. B. Serpico, "Generalized minimum-error thresholding for unsupervised change detection from SAR amplitude imagery," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 44, no. 10, pp. 2972–2982, 2006.
- [14] L. M. H. Ulander, B. Flood, P.-O. Frörlind, A. Gustavsson, T. Jonsson, B. Larsson, M. Lundberg, D. Murdin, and G. Stenström, "Change detection of vehicle-sized targets in forest concealment using VHF and UHF-band SAR," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 26, no. 7, pp. 30–36, 2011.
- [15] M. Lundberg, L. M. Ulander, W. E. Pierson, and A. Gustavsson, "A challenge problem for detection of targets in foliage," in *Proc. SPIE*, vol. 6237, 2006, p. 62370K.
- [16] A. C. F. Fabrin, R. D. Molin Jr, D. I. Alves, R. Machado, F. M. Bayer, M. I. Pettersson, H. Hellsten, P. Dammert, and L. Ulander, "A CFAR Optimization for Low-Frequency UWB SAR Change Detection Algorithms," in *Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings, 2017. IGARSS'17. 2017 IEEE International*, 2017.
- [17] R. D. Molin Jr., A. C. Fabrin, P. Sperotto, D. I. Alves, F. M. Bayer, R. Machado, M. I. Pettersson, H. Hellsten, P. Dammert, and L. Ulander, "Iterative Change Detection Algorithm for Low-Frequency UWB SAR," in *XXXIV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, SBrT2016*, 2016.
- [18] M. A. Richards, J. Scheer, W. A. Holm, and W. L. Melvin, *Principles of modern radar*. Citeseer, 2010.
- [19] J. S. Oakland, *Statistical process control*. Routledge, 2007.