

Detecção de Drone Quadrotor por Radar Pulsado de Banda X

Tiago O. Costalonga, Vanessa P. R. Magri e Victor Fernandes

Resumo—Este artigo investiga o uso do radar pulsado FAR-2117 para a detecção do drone DJI Phantom IV. Para isso, são realizadas simulações de sessão reta radar, alcance radar, e probabilidade de detecção. Depois, foram feitas medições em campo para validar os resultados obtidos pelas simulações. Pelos resultados numéricos, foi possível observar que as especificações do radar foram suficientes para detectar o drone. Como a Marinha do Brasil possui vários radares desse tipo instalados em navios e em regiões costeiras, pode-se afirmar que o uso desses radares para detecção de drones reaproveita a infraestrutura existente e, assim, reduz custos.

Palavras-Chave—Drone, Radar pulsado, RCS, Detecção.

Abstract—This paper investigates the use of the FAR-2117 pulsed radar for the detection of the DJI Phantom IV drone. For this, simulations of radar cross section, radar range, and probability of detection are performed. Then, field measurements were made to validate the results obtained through simulation. Based on numerical results, it was possible to observe that the radar specifications were sufficient to detect the drone. As the Brazilian Navy already has several radars of this type installed on ships and in coastal regions, one may state that the use of these radars for detecting drones reuses the existing infrastructure and, therefore, reduces costs.

Keywords—Drone, Pulsed radar, RCS, Detection.

I. INTRODUÇÃO

Nos último anos, houve um aumento significativo na quantidade de aeronaves não tripuladas, popularmente conhecidas como drones, no mundo. No Brasil, segundo os dados da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), o número de registros dessas aeronaves triplicou em território nacional de 2017 a 2022 [1]. De acordo com a *Federal Aviation Administration*, órgão responsável pela administração aérea dos EUA, é previsto que o número de drones em território americano seja de 1,89 milhão em 2027 [2]. Objetivando assegurar a privacidade e a segurança de indivíduos e organizações, esse crescimento tem incentivado o avanço de técnicas voltadas para a detecção de drones, tais como a detecção visual, acústica, passiva de radiofrequência (RF), e por radar.

Dentre as técnicas citadas, a detecção por radar se destaca porque sobrepõe algumas das principais limitações dos demais tipos de detecção [3]. Por já ser consolidado e amplamente empregado em aplicações militares

e automotivas, o radar vem sendo utilizado em vários estudos sobre detecção de drones. Por exemplo, em [4], foi utilizado um radar pulsado operando na banda Ku, para analisar a probabilidade de detecção de 3 drones com seção reta radar (do inglês, *Radar Cross Section* - RCS) de $0,5 \text{ m}^2$, 1 m^2 , e $1,5 \text{ m}^2$. Segundo os autores, é possível detectá-los com elevada probabilidade de detecção a uma distância de até 1000 m. Já em [5], os autores analisaram o emprego de um radar de onda contínua com modulação em frequência (do inglês, *Frequency Modulated Continuous Wave* - FMCW), operando na banda X, para a detecção de drones. De acordo com o trabalho, foi possível detectar um drone de asa fixa a uma distância de 600 m, enquanto que um quadrotor foi detectado a 400 m por possuir uma RCS inferior na configuração proposta. Em [6] e [7], o efeito micro-Doppler foi investigado através de medições da rotação das hélices dos drones. A partir de um radar com compressão de pulsos operando em 2,4 GHz e com drones em distâncias entre 60 e 90 m do radar, foi possível detectar, identificar, e classificar as aeronaves. Em [8] foram utilizados dois radares FMCW, operando em 24 GHz e 94 GHz, com a finalidade de diferenciar drones de aves. Embora as ondas eletromagnéticas nessa faixa de frequência apresentem elevada atenuação com a propagação, os autores conseguiram medir as assinaturas micro-Doppler de drones e aves a uma distância de 380 m e 700 m para os radares de 94 GHz e 24 GHz, respectivamente.

No geral, os trabalhos citados anteriormente investigaram o uso de radares com infraestrutura dedicada e terrestre para detecção de drones. Nesse contexto, visto que não foi encontrado nenhum estudo ou investigação na literatura acerca do uso de um radar marítimo pulsado de banda X para a detecção de drones e, considerando que a Marinha do Brasil já possui vários radares desse tipo instalados em navios e em regiões costeiras para navegação e monitoramento do tráfego marítimo, este artigo propõe e analisa a performance do radar FAR-2117, da empresa Furuno®, para a detecção de drones quadrotoros. Essa investigação é feita inicialmente por meio de simulação e, posteriormente, via medição em campo com o drone DJI Phantom IV.

As próximas seções deste trabalho estão dispostas da seguinte forma: A Seção II introduz o princípio de funcionamento da detecção por radar, bem como suas vantagens e limitações. A Seção III mostra as especificações técnicas do radar Furuno FAR-2117 e detalha como foram realizadas as simulações e medições em campo. A Seção IV apresenta a formulação matemática da equação radar. A

Tiago O. Costalonga, Vanessa P. R. Magri, e Victor Fernandes, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Telecomunicações (PPGEET), Universidade Federal Fluminense (UFF), Niterói - RJ. E-mails: {tiago_ogioni, vanessamagri, fernandesvictor}@id.uff.br. Este trabalho foi parcialmente financiado pela Marinha do Brasil. Agradecimento ao Artur Martini Coelho Brandão, da empresa AMB Serviços Eletrônicos, pela disponibilização e manutenção do radar Furuno FAR-2117. Este trabalho foi parcialmente financiado pela Marinha do Brasil.

Seção V discute os resultados numéricos, enquanto que as considerações finais são expostas na Seção VI.

II. DETECÇÃO POR RADAR

Esse tipo de detecção utiliza radares que emitem ondas eletromagnéticas com frequências de 3 a 100 GHz e captam os sinais refletidos, determinando a presença dos alvos com base na energia refletida pelos mesmos. Diferentemente da detecção visual, na detecção por radar é possível contornar certas condições meteorológicas e a falta da linha de visada entre o radar e o alvo. Além disso, é imune a ruídos sonoros, ao contrário da detecção acústica. Adicionalmente, não requer a existência de uma comunicação entre o drone e o seu operador como na detecção passiva de RF. Entretanto, a detecção por radar depende da RCS dos alvos, que pode ser pequena em drones, e tem limitações de alcance devido a perdas atmosféricas nas frequências de operação.

Considerando o princípio de funcionamento, existem dois tipos de radares: de onda contínua (do inglês, *continuous wave* - CW) e pulsado. Os radares CW transmitem e recebem de forma contínua e simultânea os ecos refletidos pelos alvos. A velocidade e a trajetória de um alvo em movimento podem ser determinadas observando suas mudanças de frequência no lado do receptor devido ao efeito Doppler. Os radares CW não são capazes de realizar medições de alcance sem modulação adicional, como a modulação em frequência (do inglês *frequency modulation* - FM). Radares CW que utilizam modulação FM são chamados de FMCW, em que um determinado valor de frequência representa um atraso de tempo específico e, conseqüentemente, a uma determinada distância.

Já os radares pulsados transmitem sequências de pulsos muito curtas com alta potência, e processam os ecos que foram refletidos pelo alvo durante o intervalo de tempo entre os pulsos subsequentes. O desempenho desses radares é influenciado principalmente pela duração dos pulsos transmitidos e pela janela de tempo de recepção do eco. Quanto menor a duração do pulso, maior a largura de banda necessária, o que proporciona uma melhor resolução de alcance. O radar pulsado é projetado principalmente para detecção em longas distâncias porque usa uma alta potência de transmissão. O seu desempenho diminui em curtas distâncias devido à necessidade de transmitir pulsos de duração inferior, o que resulta em menor quantidade de energia para a detecção do alvo.

Uma técnica utilizada em radares é a compressão de pulso, que combina as vantagens de ambos os radares. Ela consiste em modular as sequências de pulsos em frequência ou fase, de forma que, ao receber o eco, o radar seja capaz de realizar o cálculo da correlação cruzada entre os sinais transmitido e recebido. Essa correlação contém um pico estreito e acentuado, proporcional à similaridade entre os sinais. Assim, através da correlação, a compressão de pulso melhora a resolução em distância e aumenta a capacidade de detecção do radar. O primeiro permite a detecção de alvos que estão mais próximos uns dos outros

e o último torna mais fácil distinguir os ecos dos alvos em meio a outras fontes de ruído, devido a um aumento na relação sinal-ruído.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

O radar, modelo FAR-21x7 da empresa Furuno, é construído de forma a atender os padrões exatos de desempenho estipulados pela IMO (do inglês, *International Maritime Organization*) e pela IEC (do inglês, *International Electrotechnical Commission*), portanto, segue todas as especificações e resoluções dessas organizações. Esse tipo de radar pode ser de banda X ou banda S, ter antenas de tamanhos variados, velocidade de rotação e potência de transmissão diferentes. Basicamente, este radar é composto por uma antena rotativa, um transceptor de RF e um monitor. O modelo do radar, da antena, e do transceptor utilizados para as medições em campo deste trabalho são, respectivamente, FAR-2117, XN-24AF, e RTR-078. A Tabela I mostra as especificações do radar utilizado.

TABELA I
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO RADAR FURUNO FAR-2117.

Parâmetro	Descrição
Freq. de operação	9410 MHz
Comprimento de onda (λ)	31,9 mm
Polarização	Horizontal
Potência de transmissão (P_t)	12 kW
Tamanho / Rotação da antena	2,5 m / 24 rpm
Ganho da antena (G)	31,5 dB
Largura do feixe hor./vert.	0,95°/20°
Largura de pulso (LP)	0,07/0,15/0,3/0,5/0,7/1,2 μ s
Freq. de repetição de pulso (FRP)	3000/1500/1000/600 Hz
Largura de banda (BW)	60 MHz
Figura de ruído (F)	6 dB

O radar Furuno FAR-2117 está instalado no topo do prédio do Instituto de Geociências do Campus Praia Vermelha da Universidade Federal Fluminense (UFF), situado em Niterói, RJ, e está voltado para a Baía de Guanabara, conforme mostra a Figura 1. A altitude da antena com relação ao nível do mar é de 32 m. As condições atmosféricas no dia da medição em campo eram favoráveis, com poucas nuvens e sem chuva sobre a baía.



Fig. 1. Radar Furuno FAR-2117 com a Baía de Guanabara ao fundo.

O drone utilizado foi o DJI Phantom IV, mostrado na Figura 2. Essa aeronave é composta por quatro hélices e possui uma câmera de alta resolução, em que a maior parte de sua estrutura é construída com plástico. Também, o quadrotor mede aproximadamente 35 cm em sua diagonal e pesa cerca de 1,38 kg.



Fig. 2. Drone DJI Phantom IV.

Para estimar a RCS do drone foi realizada uma simulação no *software* Feko[®] da empresa Altair. Para isso, foi simulada a incidência de uma onda plana, com a mesma frequência de operação do radar, sobre o drone, variando a incidência dos ângulos em azimute (ϕ) em passos de 1 grau, conforme mostrado na Figura 3. A simulação foi realizada usando o método *Ray Launching Geometrical Optics (RL-GO)*, que é uma técnica que utiliza um traçado de raios para modelar a dispersão de ondas eletromagnéticas com base nas teorias de propagação, reflexão e refração. Esse método utiliza menos recursos computacionais e possui precisão relativamente alta para o cálculo de RCS.

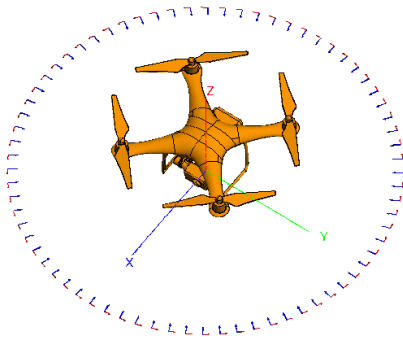


Fig. 3. Simulação de RCS do drone DJI Phantom IV.

Após estimar a RCS do drone, foi feita uma simulação da equação radar no *software* MATLAB[®], utilizando dois métodos de análise, a fim de analisar a distância máxima de detecção do drone. Essa equação envolve parâmetros fundamentais como relação sinal-ruído (SNR), probabilidade de detecção (P_d), probabilidade de falso alarme (P_{fa}), e perda de sistema (L_s).

Posteriormente, foi utilizado o *software* AREPS[®] (do inglês, *Advanced Refractive Effects Prediction System*) para simular o alcance radar para o drone DJI Phantom IV, por meio de dados das condições climáticas no local da medição em campo. Esse *software* é empregado em pesquisas científicas e em análises operacionais militares para calcular e exibir diversos auxílios para a tomada

de decisões referentes à propagação eletromagnética, tais como a previsão de alcance radar e a probabilidade de detecção de determinado alvo por um radar específico [9].

A partir dos resultados simulados nos *softwares* MATLAB e AREPS, foi feita uma avaliação da performance que o radar Furuno FAR-2117 tem para detectar o drone DJI Phantom IV, bem como uma comparação entre as distâncias máximas de detecção obtidas via simulação e por meio de medições em campo. O radar foi configurado com uma frequência de repetição de pulso de 3000 Hz e largura de pulso de $0,07 \mu s$. Para as medições em campo com o Phantom IV, foi feito um voo sobre a Baía de Guanabara na mesma altitude da antena do radar e com velocidade média de 8 m/s. Após ser detectado pelo radar, foi avaliada a distância máxima de detecção para esse modelo de drone.

IV. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

A distância máxima de detecção (R_{\max}), considerando os parâmetros físicos de um radar, é dada por [10]

$$R_{\max}^4 = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 F k T_0 B W L_s L_f} \frac{\sigma}{SNR}, \quad (1)$$

em que P_t é a potência de transmissão (W), G é o ganho da antena, λ é o comprimento de onda (m) do sinal, F é a figura de ruído do receptor do radar, k é a constante de Boltzmann ($1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K), T_0 é a temperatura (K), BW é a largura de banda do receptor (Hz), L_s e L_f são, respectivamente, as perdas do sistema e de flutuação do alvo, σ é a seção reta radar (RCS) do alvo (m^2), e SNR é a relação sinal-ruído do receptor do radar. Para simplificar a notação, L_f será usado para representar uma função dos parâmetros P_d e P_{fa} .

De acordo com [10], considerando apenas um pulso emitido, a SNR está relacionada com a probabilidade de detecção (P_d) e a probabilidade de falso alarme (P_{fa}) através de

$$SNR = A + 0,12AB + 1,7B, \quad (2)$$

onde $A = \ln(0,62/P_{fa})$ e $B = \ln[P_d/(1 - P_d)]$.

Para escolher um radar com uma determinada finalidade é necessário conhecer todos os parâmetros da equação (1), para um dado P_d e P_{fa} , que, geralmente, não são amplamente disponibilizados pelos fabricantes. Desse modo, reorganizando a equação (1) e substituindo na equação (2) tem-se

$$\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 F k T_0 B W L_s L_f R_{\max}^4} = A + 0,12AB + 1,7B. \quad (3)$$

Tomando a razão entre dois alvos com diferentes valores de seção reta radar (σ_1 e σ_2), pode-se escrever

$$\frac{R_{\max_1}^4}{R_{\max_2}^4} = \frac{\frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 F k T_0 B W L_s L_{f1} SNR_1} \frac{\sigma_1}{\sigma_2}}{\frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi)^3 F k T_0 B W L_s L_{f2} SNR_2}} = \frac{\sigma_1 L_{f2} SNR_2}{\sigma_2 L_{f1} SNR_1}. \quad (4)$$

Desse modo, existem dois métodos de análise dos parâmetros R_{\max} , P_d , P_{fa} de um radar para um determinado alvo, os quais são descritos a seguir.

Método I: Esse método utiliza a equação (3) para uma análise individual, sendo necessário conhecer todos os parâmetros do radar (P_t , G , λ , F , BW e L_s) e do alvo (σ e L_f). Os parâmetros do radar podem ser encontrados na Tabela I, onde L_s será variado dentro de um conjunto de possíveis valores. Já o valor de σ do drone (alvo) será estimado, enquanto que L_f será obtido a partir dos valores de P_d e P_{fa} .

Método II: Esse método, por meio da equação (4) em conjunto com a equação (2) oferece uma análise comparativa. Conhecendo σ_1 , L_{f1} , P_{d1} e R_{\max_1} de um alvo de referência é possível determinar indiretamente um dos parâmetros (σ_2 , L_{f2} , P_{d2} ou R_{\max_2}) para outro alvo de interesse. Para esse alvo de referência, foram usados os dados relativos a uma boia de marcação de canal, retirados da resolução MSC.192(79) da IMO [11]. Essa resolução padroniza os parâmetros e performance dos radares marítimos, incluindo o radar Furuno FAR-2117. Segundo essa resolução, os parâmetros da referida boia são $\sigma_1 = 1 \text{ m}^2$, $R_{\max_1} = 3700 \text{ m}$, $P_{d1} = 0,8$, e $P_{fa} = 10^{-4}$, em que $L_{f1} = 0 \text{ dB}$ foi calculado a partir desses parâmetros.

V. RESULTADOS NUMÉRICOS

A Figura 4 mostra a RCS do drone Phantom IV em função do ângulo de incidência das ondas planas. Note que os maiores valores de RCS ocorrem quando $\phi = 90^\circ$ e $\phi = 270^\circ$, que correspondem aos casos em que o drone está com uma de suas laterais voltadas para a direção do radar. Considerando equiprobabilidade de ocorrência para todos os valores de ϕ , a média aritmética de todos os valores de RCS será adotada no restante do trabalho. Esse valor é de, aproximadamente, $-15,28 \text{ dBm}^2$ ou $0,0296 \text{ m}^2$.

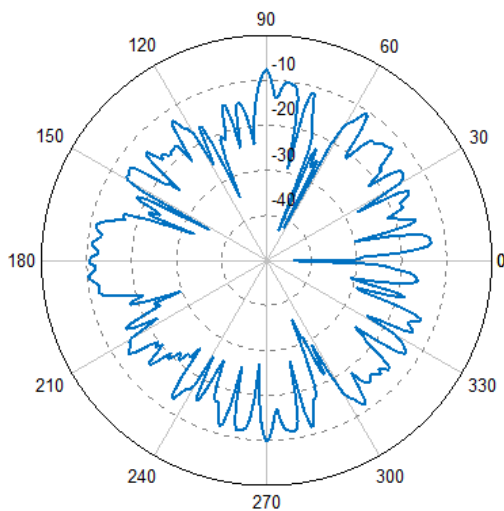


Fig. 4. RCS (σ), em dBm^2 , do drone DJI Phantom IV em função de ϕ .

Com o valor de RCS estimado anteriormente, é possível analisar P_d do drone em função da distância máxima

de detecção através dos dois métodos apresentados na Seção IV. A Figura 5 mostra a comparação entre os dois métodos utilizados.

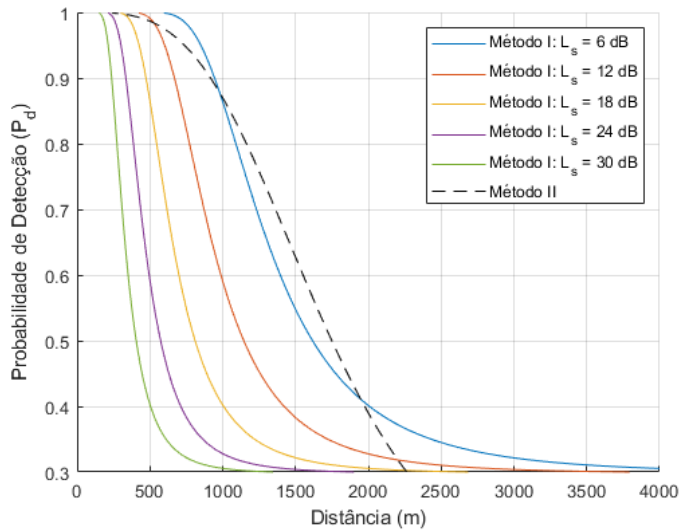


Fig. 5. P_d em função da distância utilizando os dois métodos de análise.

Pelo Método I, note que, a distância de detecção diminui com os aumentos de L_s e P_d . Assumindo $P_d = 0,9$, tem-se $R_{\max} = 945 \text{ m}$ quando $L_s = 6 \text{ dB}$ e $R_{\max} = 237 \text{ m}$ se $L_s = 30 \text{ dB}$. A variação dos valores de perda do sistema é analisada pois, segundo [10], não há um procedimento para determinar esse tipo de perda ou até mesmo quais perdas são consideradas perda do sistema. Além disso, esse parâmetro não é amplamente disponibilizado pelos fabricantes de radares.

Utilizando o Método II, é possível observar que o radar pulsado Furuno FAR-2117 tem a capacidade de detectar o drone DJI Phantom IV em até $R_{\max} = 1000 \text{ m}$ de distância com $P_d = 0,87$, enquanto que distâncias superiores a $R_{\max} = 3000 \text{ m}$ entre o radar e o drone resultam em $P_d = 0,16$. Também, comparando as curvas da Figura 5 quando $P_d = 0,9$, o valor de perda de sistema que faz com que o Método I esteja mais próximo do Método II é $L_s = 6 \text{ dB}$, o qual foi utilizado como parâmetro para a continuidade dos resultados.

Desse modo, para a simulação de alcance radar no AREPS foram utilizadas os dados da Tabela I, $\sigma = 0,0296 \text{ m}^2$ e $L_s = 6 \text{ dB}$. A Figura 6 mostra o resultado dessa simulação, em que é apresentado um gráfico de P_d do drone, representado pelos intervalos de cores, em função da altura do mesmo com relação ao nível do mar (h) e da distância de detecção. Analisando esta figura, pode-se observar que para $1 \geq P_d > 0,9$ e $h = 0 \text{ m}$ é possível detectar o drone em até, aproximadamente, $R_{\max} = 1000 \text{ m}$, embora a maior concentração de pontos vermelhos (i.e., $P_d > 0,9$) esteja na região em que $R_{\max} < 400 \text{ m}$. Além disso, se $R_{\max} = 800 \text{ m}$, então é possível observar uma detecção do drone com $P_d > 0,9$ na região em que $h < 200 \text{ m}$.

Para comparar com as simulações feitas anteriormente, foi realizada uma medida em campo utilizando o radar

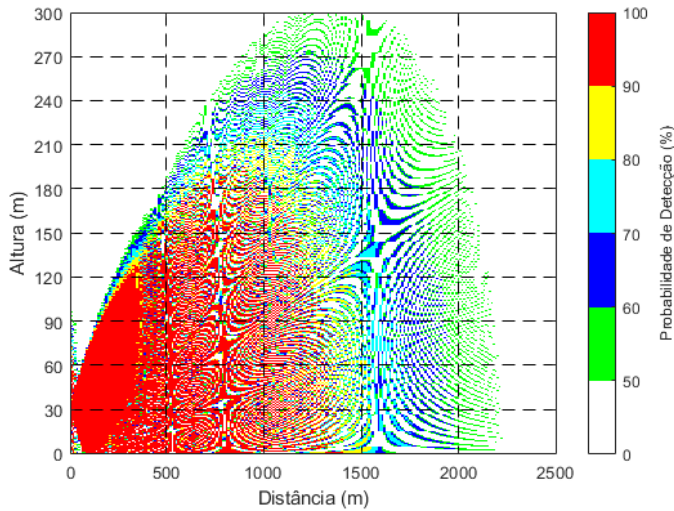


Fig. 6. P_d relativos a altura em relação ao nível do mar e a distância do alvo com $\sigma = 0,0296\text{m}^2$ e $L_s = 6$ dB.

Furuno FAR-2117 e o drone DJI Phantom IV, conforme descrito na Seção III. A Figura 7 mostra o acompanhamento do drone pelo monitor do radar, onde a seta azul mostra o ponto da primeira detecção da aeronave em, aproximadamente, 363 m de distância e a seta vermelha indica a distância máxima que foi possível acompanhar o alvo pelo radar, 425 m. Esse valor está dentro do alcance previsto do radar de acordo com a simulação. Também, as setas em amarelo e verde representam, respectivamente, as direções em que se encontram o Aeroporto Santos Drummond e a ponte Rio-Niterói.

Também foi observado durante as medições que, dependendo da direção do drone com relação ao radar, seu eco ficava intermitente. Isso dificultou o acompanhamento do drone no monitor e foi devido a sua variação de RCS, como discutido anteriormente. Além disso, foi possível notar que a velocidade do drone também causava uma perda de energia no eco. Para uma velocidade acima de 13 m/s não foi possível identificar o drone no monitor do radar.

A partir das simulações e da medição em campo pode-se afirmar que é possível detectar um drone com baixa RCS por meio de um radar pulsado de banda X, originalmente projetado para embarcações marítimas. Com isso, e por ser um radar de uso comum na Marinha do Brasil, a utilização desse tipo de radar para detecção de drones poderia se aproveitar de uma infraestrutura já existente e, consequentemente, reduzir custos com instalação ou até mesmo aquisição de outros radares para esse fim.

VI. CONCLUSÕES

Este artigo abordou a utilização do radar pulsado Furuno FAR 2117, usado para navegação marítima, para a detecção do drone quadrotor DJI Phantom IV. Foram realizadas simulações de sessão reta radar, alcance radar, e probabilidade de detecção para esse tipo de drone. Além disso, medições em campo foram feitas com o intuito de comprovar os resultados obtidos via simulação. Com base

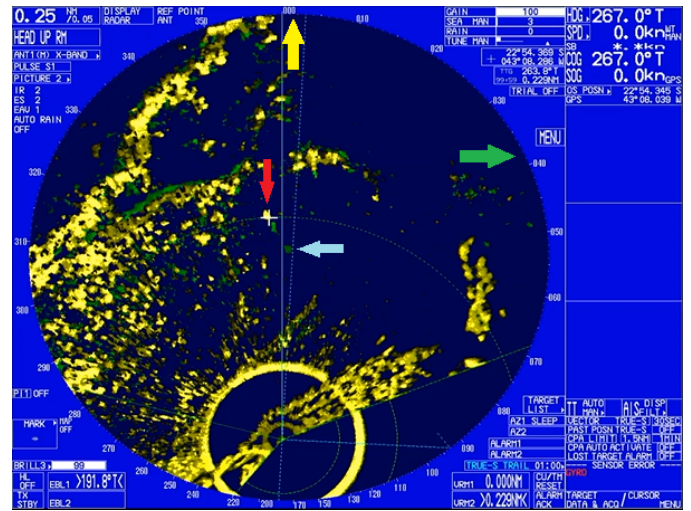


Fig. 7. Monitor do radar Furuno FAR-2117. As setas azul e vermelha indicam onde o drone foi detectado com menor e maior distâncias do radar, respectivamente. Já as setas amarela e verde indicam, respectivamente, a direção do Aeroporto Santos Drummond e a ponte Rio-Niterói.

nos resultados numéricos, foi possível observar que as especificações do radar foram suficientes para realizar a detecção do drone, conforme indicado pelas simulações. Por fim, foi mostrado que o radar utilizado foi capaz de detectar o drone, com alta probabilidade de detecção, na distância máxima de 425 m. Novos estudos serão feitos com diferentes tipos de drones, de modo a verificar a viabilidade de detecção por esse tipo de radar, bem como avaliar sua performance em altitudes distintas.

REFERÊNCIAS

- [1] Agência Nacional de Aviação Civil - ANAC. "Quantidade de Cadastros - Drones". 2022. Disponível em: www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/quantidade-de-cadastros. Acesso em: 03 de junho de 2023.
- [2] Federal Aviation Administration - FAA. "FAA Aerospace Forecast Fiscal Years 2023–2043". *US DoT*. Disponível em: www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts. Acesso em: 06 de junho de 2023.
- [3] Farlik, Jan, et al. "Multispectral detection of commercial unmanned aerial vehicles". *Sensors*, v. 19, n. 7, pp. 1517, 2019.
- [4] Ochodnický, Ján, et al. "Drone detection by Ku-band battlefield radar". In: *2017 International Conference on Military Technologies (ICMT)*. IEEE, pp. 613-616, Maio 2017.
- [5] Laučys, Andrius, et al. "Investigation of detection possibility of UAVs using low cost marine radar". *Aviation*, v. 23, n. 2, pp. 48-53, 2019.
- [6] Pallotta, Luca, et al. "A feature-based approach for loaded/unloaded drones classification exploiting micro-doppler signatures". In: *2020 IEEE Radar Conference (RadarConf20)*. IEEE, pp. 1-6, 2020.
- [7] Ritchie, Matthew, et al. "Multistatic micro-Doppler radar feature extraction for classification of unloaded/loaded micro-drones". *IET Radar, Sonar and Navigation*, v. 11, n. 1, pp. 116-124, 2017.
- [8] Rahman, S., e Robertson, D. A. "Radar micro-Doppler signatures of drones and birds at K-band and W-band". *Scientific Reports*, v. 8, n. 1, pp. 1-11, 2018.
- [9] Soares, Anderson Silva et al. "Análise da detecção de drones por radar marítimo de navegação empregando o software Advanced Reflective Effects Prediction System (AREPS)". *Revista Pesquisa Naval*, v. 1, n. 33, pp. 59-65, 2021.
- [10] Skolnik, Merrill I. "Introduction to Radar Systems". McGraw-Hill. ed. 3, 2001.
- [11] Resolution MSC.192(79): Adoption of the Revised Performance Standards for Radar Equipment. IMO, 2004.