Interferência em sistemas WAIC causada por drones não cooperativos

Victor Hugo Verzine Garcia, Lucas Compassi Severo
Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP – Brasil

• **Resumo** — O controle de sistemas primários baseados em comunicações *wireless*, os *Wireless Avionics Intra-Communication Systems* (WAIC), foi extensivamente estudado pela *International Telecommunications Union* (ITU) e pode ser aplicado comercialmente em aeronaves. A adoção do WAIC apresenta perigos devido à possível interferência entre aviões em um aeródromo. O aumento do uso de drones pelos gestores de aeródromos para atividades de suporte pode se revelar outro perigo para os aviões caso não sejam adotadas medidas de restrição do espaço aéreo e de mitigação para redução dos riscos. Além disso, o uso malicioso de drones não cooperativos nas proximidades de aeroportos pode apresentar perigo potencial de causar interferência nos sistemas WAIC dos aviões. Desta forma, este trabalho apresenta uma análise da interferência em receptores WAIC e um estudo de caso em que um drone não cooperativo utilizado de forma maliciosa sobrevoa um avião em um aeródromo. No estudo de caso foram avaliadas as interferências no receptor WAIC decorrentes de diferentes níveis de potência de transmissão do drone considerando-se quatro valores de distância entre drone e avião e a distância necessária para atender ao critério de interferência aceitável estabelecido pela ITU.

I. INTRODUÇÃO

A indústria aeronáutica, em constante evolução, tem empregado soluções que tornam os aviões mais eficientes, o que motivou o estudo para aplicação de sistemas *wireless* em substituição ao uso de fiações em funções primárias de sistemas conhecido por *Wireless Avionics Intra-Communication* (WAIC).

Com o uso de WAIC são definidas comunicações entre sistemas dos aviões que deixam de receber comandos apenas por fios. A aplicação desta solução precisa ser minuciosamente avaliada durante a fase de projeto para que condições como a interferência eletromagnética tanto de fatores internos ao avião quanto externos sejam conhecidas e gerenciadas.



Figura 1 – Exemplo de links de sistemas WAIC (ITU, 2015b).

Um dos ambientes em que há a identificação de condições de perigo são os aeroportos, principalmente nas interações entre os sistemas de aviões distintos em posições como estacionamento em pátios e o cruzamento em pistas de táxi e pouso e decolagem. Outro fator de preocupação é o uso de drones nos aeródromos por seus gestores para inspecionar pistas de pouso e decolagem, táxi e pátios, monitorar áreas de segurança e inspecionar auxílios visuais como luzes de pista e sinalizações.

Em 2025 a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) divulgou o *Manual sobre operação de drone (UA) no apoio às atividades aeroportuárias* para orientar os operadores dos aeródromos sobre as práticas a serem adotadas para a operação segura de drones. O uso pode ter como consequências a colisão com aeronaves, a interrupção das operações aeroportuárias e danos à segurança e propõe medidas mitigatórias. O manual menciona a necessidade de se manter distância segura de aviões tripulados devido ao perigo de *jetblast* e recomenda evitar o voo sobre aeronaves estacionadas no pátio.

A difusão do uso dos drones também requer uma compreensão do uso do espaço aéreo. Drones que auxiliam na gestão do aeródromo são conhecidos como cooperativos, mas podem existir drones não cooperativos, e esta classificação está relacionada à comunicação e compartilhamento de dados de navegação (Ramasamy, 2015). Sistemas não cooperativos são indesejados e no contexto de um aeroporto podem representar uma ameaça caso não sejam adotadas medidas de contravenção.

Yaacoub, J.P. et al. (2020) reforça que os drones devem ser associados a questões de segurança, por serem passíveis de ataques cibernéticos e capazes de serem usados como vetores de ataque por usuários maliciosos e apresenta características das frequências de comunicação sem fio utilizadas para a operação de drones, de 2.4 GHz e 5 GHz, os quais são mais e menos suscetíveis a interferência respectivamente. O uso malicioso poderia ser dividido em terrorista, que engloba ataques cibernéticos, uso de armamento e vigilância, e criminal, com o tráfico de drogas, hackeamento e violação de privacidade (Yaacoub, J.P. et al., 2020).

Este trabalho apresenta a avaliação de perigo de interferência entre drone não cooperativo e sistemas WAIC, considerando um cenário em que um drone não cooperativo, equipado com sistemas que degradem a operação de um avião que tenha sistemas WAIC, sobrevoa um aeródromo.

II. SISTEMA WAIC E INTEFERÊNCIA DE SISTEMAS NÃO COOPERATIVOS

Os sistemas WAIC devem operar nas frequências de 4200 a 4400 MHz, conforme definido pela *International Telecommunications Union* (ITU, 2015b). Os componentes podem ser instalados interna ou externamente à aeronave e transmitir dados em alta ou baixa taxa (ITU, 2011).

Ao utilizar a comunicação sem fio os WAIC estão sujeitos à interferência cujos parâmetros são a frequência central (ITU, 2025), separação entre frequências portadoras (ITU, 2025), estabilidade de frequência (NIST, 2008), tipos de emissão (ITU, 2019), nível de potência (Balanis, 2005), nível de emissão fora da banda (ITU, 2025), distância vertical entre antena e um aparato (Balanis, 2005), e relação frente-costas da antena (*front-to-back ratio*) (Balanis, 2005).

O nível de potência de interferência em um receptor WAIC pode ser calculado por (ITU, 2015a):

$$I_{acc} = P_{WAICtrans} + G_{WAICtrans} + G_{WAICrec} + 20\log(\lambda/4\pi R_{WAIC}) + (I/S)_{acc}$$

Em que:

- I_{acc}: nível aceitável de potência de interferência na entrada do receptor WAIC, em dBW
- $P_{WAICtrans}$: nível máximo de potência de transmissão dos transmissores WAIC externos, em dBW
- $G_{WAICtrans}$, $G_{WAICrec}$: ganhos das antenas transmissora e receptora dos sistemas WAIC, em dBi
- λ: comprimento de onda da portadora, em metros
- R_{WAIC}: distância máxima entre as antenas transmissora e receptora WAIC, em metros
- $(I/S)_{acc}$: critério de proteção correspondente de um sistema WAIC de alta ou baixa taxa, em dB.

Conforme avaliado pela ITU (2015b), sistemas WAIC de alta taxa de dados podem apresentar características como ganho de antena do receptor e transmissor de 0 dBi, potência máxima de transmissão de 50 mW, largura de banda de emissão a 3 dB de 16.6 MHz, critério de proteção de -14 dB, distância máxima entre receptor e transmissor de 15 metros e considerando-se uma frequência de 4300 MHz a interferência aceitável é de -95.6 dBW.

III. ESTUDO DE CASO

O cenário de estudo consiste em uma aeronave no pátio de um aeroporto, acionada, com sistema WAIC instalado externamente à fuselagem, e um drone não cooperativo equipado com um transmissor o sobrevoa. Os cenários consistem em distâncias de 15, 25, 50 e 100 metros entre as aeronaves, com potência de transmissão variável de 50 a 10000 mW. Avalia-se também a distância que atende à interferência aceitável no receptor WAIC baseado nos níveis de potência de transmissão.

As hipóteses adotadas são um WAIC de alta taxa, com ganho de antena do receptor de 0 dBi, critério de proteção de -14 dB, interferência aceitável no receptor de -95.6 dBW e um transmissor cuja propagação ocorre em espaço livre, ganho de antena do transmissor de 0 dBi, sem restrições em linha de visada, na mesma frequência do WAIC de 4300 MHz.

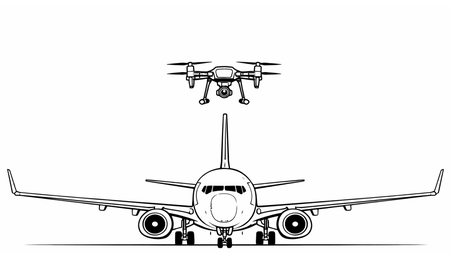


Figura 2 – Representação do cenário.

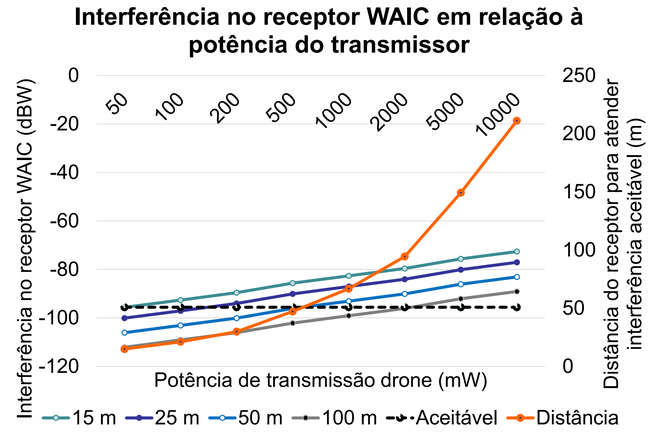


Figura 3 – Interferência no receptor WAIC em relação à potência do transmissor e distância entre aeronave e drone.

A distância entre o avião e o drone tem um impacto significativo na interferência devido à necessidade de aumento de potência do transmissor do drone ou uma redução na distância para que ocorra um efeito indesejável no sistema WAIC do avião. Nota-se também a variação da distância que deve existir entre o transmissor no drone e o receptor do sistema WAIC para que o critério de interferência aceitável no receptor seja atendido, o que implica em maiores distâncias para níveis mais elevados de potência de transmissão.

IV. CONCLUSÃO

A evolução da indústria aeronáutica possibilitou a utilização de sistemas *wireless* para o controle de comandos primários, embora ainda não seja utilizado comercialmente. O risco das operações com drones nas proximidades de aeroportos afetarem sistemas WAIC é real. Desta forma, o uso de drones não cooperativos pode apresentar grande risco de interferência eletromagnética nos sistemas WAIC, principalmente em pequenas distâncias entre um avião e um drone.

REFERÊNCIAS

1. ANAC. Manual sobre a operação drone (UA) no apoio às atividades aeroportuárias. SIA. 1ª Edição. 2025.
2. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. ITU-R M.2197 - Technical characteristics and operational objectives for wireless avionics intra-communications (WAIC). Geneva: ITU, 2011.
3. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. ITU-R M.2318-0 - Consideration of the aeronautical mobile (route), aeronautical mobile, and aeronautical radionavigation services allocations to accommodate wireless avionics intra-communication. Geneva: ITU, 2015.
4. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. ITU-R M.2319-0 - Compatibility analysis between wireless avionic intra-communication systems and systems in the existing services in the frequency band 4 200-4 400 MHz. Geneva: ITU, 2015.
5. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. ITU-R SM.1138-3 - Determination of necessary bandwidths including examples for their calculation and associated examples for the designation of emissions. Geneva: ITU, 2019.
6. INTERNATIONAL TELECOMMUNICATION UNION. ITU-R SM.328-12 - Spectra and bandwidth of emissions. Geneva: ITU, 2025.
7. J.P. Yaacoub, H. Noura, O. Salman, A. Chehab, “Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations”, in *Internet of Things*, 2020.
8. NIST. Handbook of Frequency Stability Analysis. NIST Special Publication 1065, Boulder: NIST, 2008.
9. S. Ramasamy, R. Sabatini, “A Unified Approach to Cooperative and Non-Cooperative Sense-and-Avoid”, in *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), USA,* 2015.