

# UTILIZAÇÃO DE DRONES NA MONITORIZAÇÃO E MANUTENÇÃO DE SISTEMAS DE SINALIZAÇÃO

Luís Mestre

Infraestruturas de Portugal IP SA, Almada, Portugal, [luis.ribeiro@infraestruturasdeportugal.pt](mailto:luis.ribeiro@infraestruturasdeportugal.pt)

Francisco Ganhão

Infraestruturas de Portugal IP SA, Almada, Portugal [francisco.ganhao@infraestruturasdeportugal.pt](mailto:francisco.ganhao@infraestruturasdeportugal.pt)

Amadeu Silva

Infraestruturas de Portugal IP SA, Almada, Portugal [amadeu.silva@infraestruturasdeportugal.pt](mailto:amadeu.silva@infraestruturasdeportugal.pt)

Manuel Oñate

EuroUsc España S.L., Madrid, Espanha, [manuel.onate@eurousc.es](mailto:manuel.onate@eurousc.es)

Gonzalo Oñate

EuroUsc España S.L., Madrid, Espanha, [gonzalo.onate@eurousc.es](mailto:gonzalo.onate@eurousc.es)

## 1. RESUMO

A inspeção e monitorização dos ativos de sinalização ferroviária baseia-se atualmente em três métodos alternativos: a) inspeções a pé; b) diagnóstico remoto através de ligações cabladas em ativos dotados de algum grau de informatização; c) utilização de comboios dotados de sistemas de monitorização. Estes métodos impõem limitações severas em termos de questões de segurança, investimento e complexidade, custos operacionais, conjunto limitado de dados de diagnóstico processados e disponibilidade da via para a exploração de comboios. O RADIUS propõe a utilização de Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas (UAS) ou mais comumente conhecidos por DRONES; para executar grande parte da inspeção de forma automatizada com recurso a voos fora da linha de vista do operador (BVLOS – beyond visual line of sight) e também algumas tarefas de manutenção dos ativos de sinalização, com aumento da qualidade relativamente aos métodos atuais, recorrendo à recolha de imagens e outros dados dos ativos com utilização de ferramentas de análise sobre os dados recolhidos. Foi também desenvolvido um protótipo de estação de ancoragem que permite a aterragem/ descolagem autónoma dos Drones, com carregamento automatizado das baterias. A utilização dos Drones exige, contudo, conformidade com normas e regulamentos da aviação, para além das existentes no meio ferroviário.

### 1.1. Palavras-Chave

Manutenção, Sinalização, UAS, drones, monitorização, ativos.

## 2. INTRODUÇÃO

A manutenção/monitorização dos sistemas de sinalização ferroviária é tradicionalmente feita com recurso a equipas que se movimentam ao longo da via-férrea, quer em tarefas de manutenção preventiva quer de manutenção corretiva, com importantes questões de segurança associada. As equipas de manutenção são sempre compostas por dois a três elementos e muitas das tarefas requerem a existência de regras de proteção apertadas devido à circulação dos comboios. Apesar das regras impostas por todos os Gestores de Infraestruturas Ferroviárias, continua a ser uma atividade com elevado risco associado. De acordo com o Eurostat, em 2023 ocorreram 33 mortes e 35 feridos graves em trabalhadores das empresas ferroviárias da UE, apenas na categoria “acidentes em pessoas causados por material circulante em movimento”.

Algumas soluções alternativas para reduzir a presença humana na via, têm sido utilizadas pelos gestores de infraestruturas, como é o caso da instalação de equipamento adicional de diagnóstico associado aos ativos, ou da utilização de comboios especiais para diagnóstico. Estas soluções são, contudo, caras, complexas e com resultados limitados.

Para ultrapassar estas limitações, o Projeto RADIUS propôs-se estudar a viabilidade de utilização de aeronaves não tripuladas (UAS/Drones) para realizar uma parcela importante das tarefas de inspeção e manutenção dos ativos de sinalização, incluindo comunicação sem fios com os ativos para transferência de dados. O Relatório SESAR Joint Undertaking (2016) refere a utilização de UAS/Drones como um fator positivo para a realização de inspeções à via-férrea.

Elencam-se os maiores benefícios resultantes da potencial utilização de UAS/Drones:

- Substituição de grande parte da componente humana em manutenção preventiva e inspeções;
- Melhoria dos níveis de higiene e segurança no trabalho (HST), devido à redução de trabalhadores no terreno;
- Redução da complexidade e custos das tarefas de manutenção;
- Aumento da frequência de inspeções com elevada relação benefício/custo;
- Contribuir para a digitalização da rede ferroviária.

## 3. PRINCIPAIS DESAFIOS

As operações com UAS em ambiente ferroviário levantam vários desafios decorrentes do ambiente adverso onde os voos devem decorrer. Elencam-se os mais importantes:

- Reduzida autonomia dos UAS;
- Precisão do posicionamento dos veículos;
- Aderência a regulamentação aeronáutica;
- Interferência eletromagnética;
- Influência aerodinâmica da passagem dos comboios.

O tipo de operação necessário para inspeção dos ativos ferroviários, com deslocações a baixa velocidade e necessidade de pairar e rodar em volta de um objeto, obriga à utilização de UAS do tipo multicóptero, que têm autonomias de voo relativamente limitadas. É, portanto, importante, uma clara definição dos vários pontos de localização de estações de ancoragem que permitam a aterragem, troca de baterias e descolagem de forma autónoma.

Esta deslocação a longa distância tem necessariamente de ser feita fora da linha de vista do operador, aplicando-se exigências adicionais de regulamentação aeronáutica, reguladas em Portugal pela ANAC.

Os voos autónomos de um UAS com aterragem e descolagem numa plataforma de apoio remota, sendo um elemento-chave do projeto, obrigam à existência de um sistema de navegação com elevada precisão, não disponível nos sistemas de navegação convencionais.

Os voos junto a linhas dotadas de sistema de tração elétrica poderão também ser objeto de interferência, pelo que é necessário utilizar UAS com elevada proteção à interferência eletromagnética.

A deslocação de ar gerada pela passagem dos comboios foi um desafio operacional importante com impacto no desempenho do sistema. A magnitude das forças aerodinâmicas geradas pelo movimento de um comboio é uma função quadrática da sua velocidade e também função da distância vertical e horizontal ao comboio, Pan and Yang (2010). Foram calculados resultados preliminares, usando o método descrito por Sebesan, Arsene (2015), extrapolando os resultados para a altitude expectável dos voos e estabelecendo uma distância de segurança dos UAS para diferentes patamares de velocidade.

#### 4. PRINCIPAIS OBJETIVOS

O projeto pretendeu explorar a utilização de UAS/Drones para a monitorização e manutenção de ativos existentes ao longo da via-férrea, com foco predominante nos ativos de sinalização:

- Inspeção e monitorização do estado físico e de funcionamento dos ativos de sinalização, incluindo ativos críticos para a segurança;
- Identificação de vandalismo nos ativos instalados junto à via-férrea;
- Recolha de dados por rede sem fios e diagnóstico dos equipamentos para identificação imediata de ações corretivas nos equipamentos;
- Atualizações de software de equipamentos instalados junto à via.

#### 5. ARQUITETURA DO SISTEMA

Pretendeu-se com este projeto, desenvolver uma solução baseada em UAS/Drones para monitorização e manutenção dos ativos de sinalização. A Arquitetura do RADIUS está descrita na figura 1. Pretendia-se no final do projeto chegar a um patamar de desenvolvimento tecnológico (Technical Readiness Level) TRL6, o que significa ser necessário desenvolvimento adicional para produzir uma solução comercial.

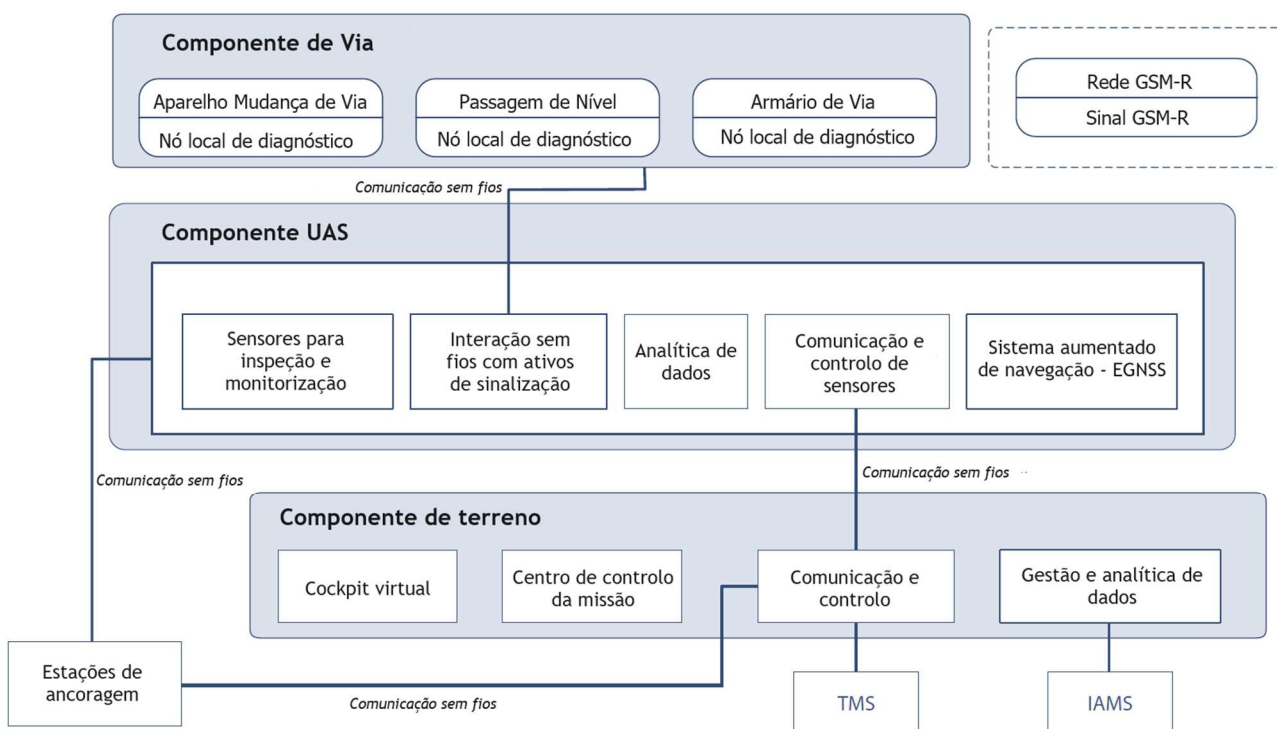
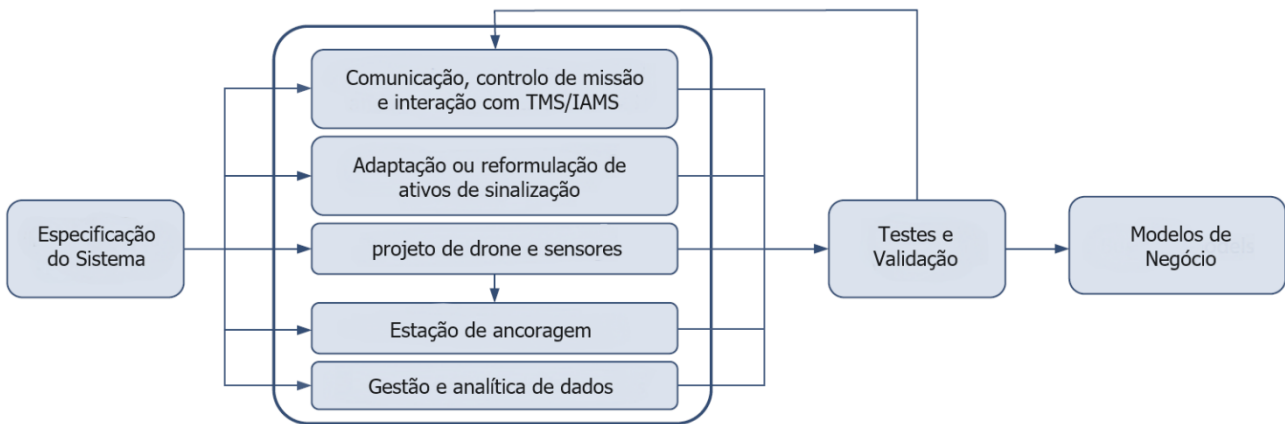


Figura 1 – Arquitetura RADIUS

## 6. METODOLOGIA DO PROJETO

A figura 2 resume a metodologia utilizada para o desenvolvimento do projeto:



**Figura 2 – Metodologia RADIUS**

- **Especificação do Sistema** – Identificação das “partes interessadas” e das suas necessidades, de condicionantes resultantes da existência de standards e corpos regulatórios tanto no ambiente ferroviário como aeronáutico; definição dos requisitos de sistema e seleção dos “casos” de aplicação;
- **Comunicação, Controlo da Missão e Interação com o Sistema de Gestão de Tráfego** (Traffic Management System-TMS) – obrigou ao desenvolvimento de procedimentos de gestão de voo, para permitir a execução das tarefas, sem ou com necessidade limitada de interdições de circulação ferroviária;
- **Adaptação dos Equipamentos de Sinalização** – Para obviar à utilização de cablagem dedicada para comunicar com equipamentos no terreno, foram adaptados ativos para permitir a comunicação sem fios com os UAS/Drones;
- **Estação de Ancoragem** – Para aumentar a autonomia de voo dos UAS/Drones, foi desenvolvida, construída e testada uma estação de ancoragem com capacidade para receber os UAS/Drones em voo autónomo, substituir e recarregar as baterias, assim como resguardar o veículo no final de uma missão.
- **Seleção do UAS/Drone e tipologia de “payload”** – Foi escolhida uma plataforma UAS comercialmente disponível (COTS) e adequada ao pretendido, nomeadamente com capacidade para transportar o “payload” necessário, já utilizada para outras funções de inspeção não autónoma nas Infraestruturas de Portugal.
- **Gestão e Analítica de Dados** - As funcionalidades de computação e comunicação a bordo da UAS com o segmento fixo foram complementadas de forma a cobrir todos os aspetos relacionados com cibersegurança, privacidade, gestão e analítica de dados para manutenção preditiva dos ativos, através de uma interface direta com o standard IAMS-Intelligent Asset Management System;
- **Testes e Validação** - Os componentes individuais foram testados em laboratório e no terreno e a totalidade do sistema foi testada e validada em ambiente ferroviário em linhas em serviço em Portugal e em linha de ensaios em Itália.

### 6.1. Casos de Estudo

Foram identificadas algumas tipologias de equipamentos para verificação da viabilidade da solução. Foram utilizadas várias ferramentas de analítica, nomeadamente técnicas de “computer vision” com Redes Neurais Convolucionais (CNN) e aplicação dos modelos Yolov8 e ResNet18, combinados com preparação de dados customizada e treinamento do modelo, que demonstraram grande eficácia e precisão na deteção de objetos e classificação de tarefas.

## I. Armários

Os armários de via estão instalados ao longo e junto à via-férrea, desempenhando um papel importante no controlo dos equipamentos de sinalização. A inspeção dos armários foi feita com recurso a câmaras RGB, câmaras de infravermelhos (NIR) e câmaras térmicas (LWIR). Com estes sensores é possível obter e guardar os dados dos ativos ao longo do tempo, e detetar alterações no seu espectro devido a vandalismo ou outros fenómenos naturais. Os modelos usados permitiram uma identificação dos elementos com taxas de sucesso de 97%. e deteção de anomalias com taxas superiores a 90%.

## II. Passagens de Nível

As passagens de nível podem ser inspecionadas em tempo real utilizando a câmara de vídeo do UAS. O reconhecimento visual das imagens proporciona uma ferramenta válida para o diagnóstico e manutenção monitorizando o movimento e temporização das barreiras deteção de obstáculos e o estado dos sinais de aviso.

## III. Aparelhos de Mudança de Via

Os aparelhos de mudança de via mais simplesmente chamados de agulhas são um dos sistemas mais críticos da ferrovia uma falha numa agulha significa sempre a interrupção da circulação ferroviária com atrasos significativos. A alta resolução das câmaras utilizadas nos UAS permite identificar o estado dos equipamentos e identificar anomalias. A análise de dados permite inclusive verificar automaticamente a ausência de alguns componentes. Foram obtidas nestes elementos taxas de sucesso de 100% para a identificação e

## 6.2. Desenvolvimento do Projeto

### I. UAS

Para o desenvolvimento do projeto, a escolha do UAS a utilizar recaiu sobre um UAS “COTS”, mais especificamente o DJI Matrice 300, já utilizado pela Infraestruturas de Portugal em outras tarefas. Foram utilizados vários tipos de “payload” durante os diferentes ensaios, contudo para a prova de conceito, foi utilizado o payload Zenmuse H20T da DJI, equipado com uma câmara zoom de 20MP de resolução, com zoom ótico de 23X e resolução de vídeo até 3840x2160 (4K) a 30pfs, uma câmara grande angular de 12MP e resolução de vídeo até 1920x1080 (FHD) a 30fps, uma câmara térmica de 640x512 a 30Hz e um telémetro laser com capacidade de medição até 1200m.

### II. Ligação sem Fios entre o UAS e Ativos no Terreno

### III.

O desenvolvimento do projeto envolvia também a verificação da viabilidade de comunicação entre o UAS em voo e ativos instalados no terreno, permitindo extrair e enviar informação diretamente ao equipamento. Dado que a adaptação de equipamentos para comunicação direta com o UAS obriga a processos de certificação complexos, foi desenvolvida uma solução constituída por uma caixa com sistema de comunicações, instalada junto do ativo, mas sem interação com ele. Foi escolhida como exemplo uma caixa de manobra, tendo sido instalada uma caixa para comunicação com o UAS na sua parte superior, conforme figura 3. Foi utilizado como *payload* no UAS para comunicação com o terreno, um módulo NVidia Jetson AGX Xavier que tem como principais características um CPU de 64-bit NVIDIA Carmel ARMv8.2 octa-core, 32GB de 256-bit LPDDR4x RAM com largura de banda de 137GB/s. As suas elevadas capacidades de comunicação WIFI, permitem uma comunicação eficaz e segura com os nós locais (*LDN- local diagnostic node*) responsáveis pela recolha dos dados dos elementos.



Figura 3 – NVidia Jetson AGX Xavier

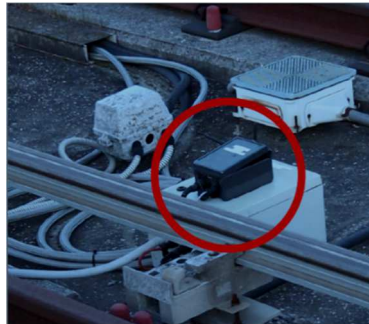


Figura 4 – Caixa de comunicação com o ativo (LDN)

#### IV. Estação de Ancoragem

Tendo em conta a tipologia das redes ferroviárias, que têm uma grande extensão linear, para mitigar as restrições operacionais dos drones multirrotor, foi desenvolvida uma estação de ancoragem que permita aos veículos aterrar trocar baterias, transferir informação e descolar de forma autónoma, aumentando assim a sua autonomia de voo. A estação de ancoragem foi projetada tendo em conta a sua instalação junto a edifícios de apoio existentes nas estações ferroviárias, estando equipada com sistema de comunicações sem fio que permitem uma ligação segura e eficiente ao UAS.

É constituída pelos seguintes componentes:

- **Plataforma de aterragem** onde o UAS aterra de forma precisa. Após a aterragem, a plataforma recolhe para o interior da estação de ancoragem, protegendo o UAS, caso não necessite de descolar de novo.
- **Sistema de carregamento** que extrai as baterias do UAS, coloca-as no carregador e insere um novo conjunto de baterias carregadas.
- **Sistema de posicionamento** que ajuda o UAS nas fases de aterragem e descolagem, garantindo a necessária precisão,
- **Unidade de controlo** que gere todas as operações da estação de ancoragem.
- **Mecanismos de segurança** incluindo barreiras câmaras e sensores para prevenir colisões e assegurarem uma aterragem segura.
- **Tampas de proteção** que após a aterragem e recolha do UAS no interior se fecham e protegem os equipamentos da estação de ancoragem, da ação dos elementos.

A figura 4 mostra o protótipo desenvolvido e utilizado na demonstração final.



**Figura 5 – Estação de Ancoragem**

## V. Posicionamento de precisão

Quer as fases de aterragem e descolagem quer o posicionamento do UAS junto das instalações ferroviárias requerem bom posicionamento de precisão não disponível nos UAS comerciais. Foi assim necessário utilizar um SBAS-Satellite-based Augmentation System, para aumentar a precisão da localização espacial do UAS. Foi inicialmente ensaiada uma solução baseada em EGNOS e GALILEU, tal como descrito em GSA (2019b), mas a precisão obtida revelou-se insuficiente. Foi então escolhida uma solução baseada em RTK-Real Time Kinematics, que no caso específico de Portugal, o serviço é público e disponibilizado pela DGT-Direção Geral do Território.

## VI. Comunicação com o UAS

Tendo sido escolhido um UAS COTS, foi necessário desenvolver uma placa de comando/controlo específica para ampliar as capacidades do UAS, entre as quais a ligação à *internet* para descarregamento das imagens adquiridas. Na figura 5 pode ver-se uma imagem da placa instalada.



**Figura 6 – Placa de comando/controlo do UAS**

## VII. Centro de Controlo

No âmbito do projeto, foi também desenvolvido todo o software do Centro de Controlo e integrado com o hardware necessário ao comando/controlo do UAS e interface com sistemas externos. A operação do UAV pode ser inteiramente autónoma, estando pré-carregado um conjunto de missões a desempenhar ao longo do tempo. A transmissão de imagem vídeo é feita em tempo real, podendo o operador em qualquer instante tomar o controlo do UAS. É feito o upload da totalidade das imagens capturadas para localização em “*cloud*”. A qualidade de imagem disponível para o operador depende da largura de banda disponível do sistema de comunicação entre o UAS e o Centro de Controlo, contudo o “*upload*” para a “*cloud*” é sempre feito em qualidade máxima, permitindo a sua análise posterior em “*BackOffice*”, com as ferramentas de análise descritas em 6.1 ou outras que se possam também mostrar eficazes.



Figura 7 – Centro de Controlo

### 6.3. Ensaios de validação

Foram realizados ensaios em ambiente ferroviário em 3 localizações diferentes, tendo sido escolhidos locais com baixa densidade populacional e tráfego ferroviário reduzido:

- Ensaio 1 - realizado em Portugal na linha do Alentejo, na Estação de Casa Branca e numa passagem de nível próxima.
- Ensaio 2 – realizado em Itália, em Nápoles na fábrica da Hitachi, que possui um anel privado de linhas de ensaio.
- Demonstração final - realizada em Portugal na linha do Alentejo na estação de Ourique, incluindo um troço do ramal de Neves Corvo.

O primeiro ensaio validou as condições de voo e a escolha do UAS e adquirir dados das agulhas armários e sinais, para o desenvolvimento da analítica de dados. Constatou-se também que a alta resolução das câmaras permite a aquisição de imagens a partir de uma altura significativa, reduzindo os riscos de interferência com a infraestrutura.

No segundo ensaio foi validada a solução de comunicações sem fios entre o UAS e caixa de manobra adaptada, conforme descrito em **Erro! A origem da referência não foi encontrada..**

### 6.4. Análise de Risco e Questões de Privacidade

Para suportar os ensaios e a demonstração final, foram elaboradas avaliações específicas de riscos operacionais (*SORA-Specific Operations Risk Assessment*), em conformidade com a regulamentação aeronáutica europeia, identificando o nível de robustez de cada objetivo de segurança e os métodos de mitigação prescritos na SORA. A avaliação incluiu o risco para terceiros partes no terreno (*ground risk*) e no ar (*air risk*).

Para salvaguardar questões de privacidade foi ainda feita uma análise manual após a fase de deteção automática de imagens e cancelamento de eventuais informações pessoais, para verificar a existência de imagens gravadas acidentalmente com pessoas ou com itens pessoais identificáveis. Concluiu-se que os algoritmos de deteção automática utilizados são suficientes para garantir os requisitos de privacidade.

### 6.5. Voo em BVLOS

Um dos objetivos do projeto, era realizar voos autónomos fora da linha de vista do operador (*BVLOS*). Para a demonstração final, tendo em conta as restrições regulamentares existentes em Portugal para este tipo de voos, foi feita uma simulação do voo, colocando vários observadores sempre em linha de vista com o UAS durante todas as fases do voo, prontos a intervir em caso de incidente. O teste foi bem-sucedido, tendo o voo decorrido integralmente conforme pré-programado, sem necessidade de intervenção dos observadores ou do piloto do UAS, demonstrando assim a viabilidade de operações em BVLOS, quanto regulamentarmente permitidos.

## 7. RECOMENDAÇÕES SOBRE REGULAMENTOS

Os vários domínios de aplicação de UAS terão de ser compatíveis com os regulamentos e standards aplicáveis a cada domínio específico como também com as regras e standards próprios da aeronáutica.

No contexto deste projeto de pesquisa, foi possível validar o conceito de BVLOS utilizando observadores. Contudo uma operação comercial viável apenas será possível com procedimentos de aprovação de voos categoria específica.

O Regulamento de execução CIR EU 2019/947 (2019) foi criado com o objetivo explícito de permitir o desenvolvimento de um mercado promissor. Contudo, 6 anos após a sua publicação, ainda existem grandes restrições para a operação viável de UAS.

De acordo com a legislação em vigor as operações em BVLOS enquadram-se sempre na categoria específica.

Para operar na categoria específica com o equipamento utilizado, é necessária a implementação de medidas de segurança adicionais nomeadamente a incorporação de um fts (flight termination system) e de um paraquedas.

Estas medidas de segurança são implementadas em conjunto com análise de risco, quer seja através da metodologia SORA ou da utilização de cenários de riscos já previamente definidos onde se possam enquadrar as operações.

Esta operação carece de autorização expressa da ANAC e de pilotos com formação específica nesta categoria.

## 8. CONCLUSÕES

O projeto demonstrou a viabilidade de utilização de UAS para inspeção e manutenção da via-férrea, aumentando a segurança das equipas e a disponibilidade da infraestrutura.

Foi possível obter o nível TRL6 conforme definido nos objetivos, contudo têm ainda de ser dados passos adicionais para obter um TRL9.

Estando a precisão do posicionamento dependente de um sistema proprietário (RTK), deverá no futuro ser reavaliada a utilização do EGNOS, OSNMA, Galileu, à medida que a precisão desse sistema aumenta.

Os voos de reconhecimento e recolha de dados geram grandes quantidades de dados, que necessitam de pós-processamento e sistema de arquivo eficientes, para poderem ser aproveitados no máximo do seu potencial. Terá assim de ser avaliada a existência de uma plataforma de gestão de ativos que possa ter interface com o IAMS.

Embora na sua génese o projeto tivesse como foco inicial os ativos de sinalização ferroviária, tendo sido bem-sucedido na demonstração de que a sua tecnologia é viável, torna-se claro que a sua utilização pode ser estendida a outros tipos de ativos e instalações na vizinhança do canal ferroviário, permitindo inspeções mais frequentes, com redução de custos e aumento da segurança das operações, reduzindo o recurso a meios humanos no terreno. Alguns tipos de voos podem inclusive ser feitos sem interferência com o tráfego ferroviário.

O RADIUS tem ainda potencial para utilização em outras infraestruturas lineares, de que serão exemplo as estradas, canais ou traçados de energia elétrica. Várias das tecnologias desenvolvidas poderão ser adaptadas às características próprias dos ativos.

A legislação aeronáutica sobre voos não tripulados em “categoria específica” ainda é muito restritiva, com procedimentos complexos que condicionam uma operação comercial viável e que poderão ser reduzidos no futuro.

A utilização das estações de ancoragem, distribuídas estrategicamente ao longo de um troço de via-férrea, permite ao UAS a aterragem, troca e recarga de baterias, resguardo, descarregamento/carregamento de dados e missões, aumentando a sua autonomia efetiva e a eficiência das tarefas de inspeção, criando uma solução comercialmente viável. O modelo de negócio de um serviço baseado no RADIUS, desenvolvido no âmbito do projeto, pode ser consultado em Oñate et al. (2023).

## 9. REFERÊNCIAS

ANAC – Aeronaves Não Tripuladas (UAS/Drones)

<https://www.anac.pt/VPT/GENERICO/DRONES/Paginas/AeronavesCivisPilotadasRemotamente.aspx>  
2025-02-26

DGT - Rede Nacional de Estações Permanentes GNSS: <https://renep.dgterritorio.gov.pt/> - 2025-02-20

Eurostat, (2023). *Railway safety statistics in the EU in 2023*:

[https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tran\\_sf\\_railvi\\_custom\\_15355250/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/tran_sf_railvi_custom_15355250/default/table?lang=en)  
2025-02-26

EUSPA - *European Global Navigation Satellite Systems (EGNSS) for drones operations*

[https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/external/publications/drones\\_operations\\_whitepaper.pdf](https://www.euspa.europa.eu/sites/default/files/external/publications/drones_operations_whitepaper.pdf)

Mestre, L.; Grossinho, A.; Conde, C.; Ratão, M; Ferreira, P; (2022) *Análítica Avançada para Aumento da Disponibilidade da Infraestrutura, 10º Congresso Rodoferroviário Português.*

[https://10crp.crp.pt/wp-content/uploads/2022/07/paper\\_38.pdf](https://10crp.crp.pt/wp-content/uploads/2022/07/paper_38.pdf)

Oñate, M., Galli, V., Buselli, I., Capasso, P., Gil, F. (2023) *Project RADIUS - Railway digitalisation using drones. Transportation Research Procedia Volume 72, pp. 124-131*

<https://doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.385>

*Regulamento de Execução (UE) 2019/947 da Comissão de 24 de maio de 2019 relativo às regras e aos procedimentos para a operação de aeronaves não tripuladas*

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:02019R0947-20220404>

Sebesan, I., Arsene, S. and Popa, G., (2015), *The Influence of Air Currents on People and Facilities Near Railway. Procedia - Social and Behavioral Sciences, vol. 186, pp. 1081-1086.*

SESAR Joint Undertaking, (2016). *European Drones Outlook Study - Unlocking the value for Europe*