

APLICAÇÃO TÉCNICA DE PROCESSAMENTO DE IMAGEM NA IDENTIFICAÇÃO DE OBJETOS ESTRANHOS NA INDÚSTRIA AERONÁUTICA. ODS 9

Viviane Tabchoury de Barros Vieira (Universidade de Taubaté)
Luis Fernando de Almeida (Universidade de Taubaté)

Resumo

Um objeto estranho na indústria aeronáutica é considerado qualquer artigo alheio ao produto aeroespacial, que ao entrar em contato com esse, pode provocar danos materiais, físicos, incidentes e acidentes, e por isso deve ser evitado e controlado. Considera-se como objeto estranho (FO, do inglês *Foreign Object*) itens pessoais, ferramentas, entre outros oriundos do processo produtivo, resíduos de fabricação, animais, pessoas e tudo que não fizer parte do produto, naquele momento e local determinado. Este trabalho tem como objetivo o uso de câmera infravermelha e técnica de processamento de imagem para identificação de objetos estranhos em aeronaves, reduzindo possíveis acidentes, o tempo de inspeção na busca por objetos estranhos no ciclo produtivo, e melhoria da qualidade da inspeção em comparação à inspeção a olho nu. Como propostas, tem-se a aplicação de câmera com luz infravermelha para registro de imagens dos locais com luminosidade escassa, e ou, em local de difícil identificação, e utilização de processamento de imagem para identificação de objetos estranhos no produto aeronáutico versus a análise manual das imagens obtidas com a câmera. Os experimentos iniciais foram realizados em estruturas e *cockpit* de um Xavante AT-26 e um Motor do F5 (modelo J85) utilizando o aplicativo Yoosee para registro das imagens. Espera-se como resultado de ambas as propostas identificar com clareza a presença de objetos estranhos propositalmente posicionados nas estruturas, que seriam dificilmente identificados a olho nu devido baixa luminosidade e ou quantidade de cabos, filamentos e componentes presentes nos locais inspecionados. Com isso, acredita-se que as propostas desse estudo poderão atuar como substituto à inspeção a olho nu pelo operador na busca por FOs, e consequente redução do risco associado às aeronaves.

Palavras-chave: Objeto Estranho; Indústria Aeroespacial; Infravermelho; Processamento de imagem.

Introdução

Na indústria aeroespacial, a prevenção a danos ocasionados por objetos estranhos tem importância consideravelmente relevante por colocarem em risco a segurança de voo, visto os acidentes que já marcaram a história.

Um objeto estranho ou FO (*Foreign Object* ou Objeto Estranho) é qualquer artigo forâneo a um produto ou equipamento aeroespacial, de qualquer natureza, cor ou tamanho, capaz de danificar ou provocar mal funcionamento do equipamento, se

em contato com esse, provocando acidentes, incidentes, prejuízo e, ou, imagem negativa para a indústria aeronáutica (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2010).

A origem de um FO pode vir de diversas fontes, como por exemplo, do próprio ser humano, infraestrutura do aeroporto, meio ambiente, operações de produção, manutenção, sistema de abastecimento, entre outros, e por isso o esforço é considerável para manter a segurança das aeronaves.

A sigla FOD (*Foreign Object Damage* ou Dano Ocasionado por Objeto Estranho) é usada para expressar qualquer tipo de dano ocasionado por um objeto estranho no produto aeroespacial, sendo esse físico ou econômico, podendo ou não comprometer a segurança do produto e/ou desempenho deste produto, e, por esse motivo, devem ser controlados e evitados, conforme exigido pelas autoridades (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2010).

É um grande desafio para a indústria aeronáutica garantir a qualidade integral e segurança de suas entregas, desde a aquisição de produtos do fornecedor até todos os níveis da cadeia de suprimentos, atendendo expectativas diversas dos clientes e autoridades. Eliminar erros humanos associados ao processo de produção e manutenção seria praticamente impossível, porém os mesmos podem ser minimizados através de melhorias no processo, métodos e atendimento aos regulamentos aeronáuticos.

A detecção de objetos estranhos é alvo importante no processo de inspeção da indústria aeronáutica, sendo previsto na norma internacional padrão AS9100. Para alcançar tal requisito, é necessário técnicas e ferramentas capazes de identificá-los, inclusive em locais de difícil acesso, e com restrição de luminosidade. Entretanto, atividades de detecção e inspeção de objetos estranhos nem sempre são concluídas de imediato, devido restrições físicas dos locais e equipamentos, e, também, as limitações de serem realizadas manualmente pelo ser humano (INTERNATIONAL AEROSPACE QUALITY GROUP, 2018).

Muitos estudos publicados sobre o tema FO se baseiam em pesquisas voltadas para detecção de FOs nas pistas de aeroportos. Em contrapartida, estudos relacionados as detecções em ambientes produtivos são reduzidas.

A principal motivação deste trabalho se decorreu no estudo seguido de apresentação de proposta capaz de identificar objetos estranhos nos produtos

aeroespaciais, considerando a relevância desse assunto para a segurança de voo, uma vez que sua presença nas aeronaves está associada a riscos de acidentes e incidentes com seus usuários.

Segundo as normas AS9146 e NAS412, um objeto estranho é qualquer item ou substância com possibilidade de migrar para o produto aeroespacial e potencialmente provocar um FOD caso não seja removido e controlado, como por exemplo, ferramentas, *hardwares* (ex: arruela, rebite, porca, parafuso, contrapino), materiais consumíveis (ex: toalha de papel, luvas, pincéis, cotonete, fita tape, lixas), dispositivos de proteção, itens pessoais, resíduos de fabricação, operação e processos, resíduos ambientais, entre outros (INTERNATIONAL AEROSPACE QUALITY GROUP, 2022; NATIONAL AEROSPACE STANDARDS, 2023).

A NAS412 inclui como produtos aeroespaciais: aeronaves, mísseis, veículos de lançamento, sistemas aeroespaciais não tripulados, satélites, motores, partes manufaturas associadas a produtos aeroespaciais etc., e estende o programa de prevenção a FOD não somente aos produtos aeroespaciais, bem como, a ambientes de operação (fabricação, manufatura, montagem, teste, hangares, pistas, aeroportos, voos etc.)(NATIONAL AEROSPACE STANDARDS, 2023)..

Um objeto estranho no local e momento indevido em relação ao produto aeroespacial pode se tornar responsável pela destruição das lâminas de um motor turbojato; danificar pneus quando sujeitos à alta velocidade; danos a componentes quando alojados em algum equipamento; travar mecanismos de controle quando alojados próximos a alavancas; ocasionar danos significantes nos aerofólios do ventilador do motor, compressor e turbina se ingeridos; limalhas de metal podem ocasionar curtos em painéis elétricos, entre outros danos e avarias (Melichar e Skrivanová, 2020; Marandi, Ramani e Tajdari, 2014; O'Donnell, 2009; Taaffe, Allen e Grigg, 2014).

De acordo com a norma AS9100, as indústrias aeronáuticas devem garantir a melhoria contínua de seus produtos e serviços, de forma a satisfazer seus clientes, autoridades da aviação, espaço e defesa, atendendo ou excedendo os requisitos dos clientes e autoridades, e ainda, planejar e controlar seus processos de forma a cumprir com os requerimentos previstos para a entrega de produtos e serviços, o que inclui à prevenção, detecção e remoção de objetos estranhos (INTERNATIONAL AEROSPACE QUALITY GROUP, 2018).

Segundo a norma AS9146 é necessário garantir dentro de suas operações produtivas métodos para prevenção, inspeção, detecção, limpeza e remoção de FO, além de controle dos processos e pessoas, que podem resultar na migração de objetos estranhos para dentro do produto aeronáutico (INTERNATIONAL AEROSPACE QUALITY GROUP, 2022) .

Segunda Luz, et al., (2024) e Tabosa, Oliveira e Hayama (2024) o processamento de imagens é uma técnica frequentemente utilizada para contagem de objetos em ambiente produtivo de indústrias. Tal técnica engloba parâmetros computacionais para manipular e analisar imagens digitais de forma a interpretá-las totalmente ou parcialmente e resultar em informações importantes para o usuário. Em suma, nesse processo tanto entrada quanto saída são imagens.

As imagens são definidas como um conjunto de pontos que representam um todo. Esses pontos são os chamados pixels, que se dispõem em uma matriz bidimensionais $f(x,y)$, sendo x e y as coordenadas do plano, e f o “pixel” (nível de cinza em cada ponto) (LUZ, et al., 2024; Tabosa, Oliveira e Hayama, 2024; Chicalski, et al., 2024).

Segundo Tabosa, Oliveira e Hayama (2024), a técnica de processamento de imagens consiste em operações como: filtragem, segmentação, obtenção de características e reconhecimento de padrões em imagens 2D ou 3D.

Para cada aplicação é necessário que seja desenvolvida uma metodologia para definir o que será necessário extrair da imagem. Para contribuir nesse processo, utiliza-se da técnica de segmentação.

A segmentação consiste na divisão das imagens em regiões para que delas possam ser obtidas características desejadas, como objetos ou elementos variados. Em suma, a segmentação seria a divisão entre pontos distintos de uma mesma imagem. Essa separação é fundamental para a identificação de diferentes elementos da imagem.

Como fatores contribuintes para a segmentação, tem-se a característica cromática dos elementos da imagem e texturas. Ambos contribuem para informações obtidas no processamento (Tabosa, Oliveira e Hayama, 2024).

A binarização é uma técnica simples e muito usada na segmentação e consiste na diferenciação de elementos da imagem por meio de pixels pretos e brancos, que

representam o objeto de interesse e o fundo da imagem (representados pelos valores: 0 ou 1) (Tabosa, Oliveira e Hayama, 2024; Chicalski, et al., 2024).

A escala de cinza por sua vez, diferencia os elementos de acordo com os seus níveis de intensidade do pixel (0 a 255), ou seja, permite até 256 tons. Na escala de cinza podemos ter a ausência ou presença absoluta de cores, indo de um extremo ao outro. A cor preta é representada pelas coordenadas (0, 0, 0), enquanto a branca por (255, 255, 255) RGB (Luz, et al., 2024; Tabosa, Oliveira e Hayama, 2024; Chicalski, et al., 2024).

Normalmente, utiliza-se o espectro RGB e HSV em processamento de imagens. O primeiro considera a imagem como um cubo, onde cada cor é a combinação das cores primárias (vermelho, verde e azul) em coordenadas (R, G, B). Em cada pixel de cor temos 3 bits e a combinação de cada uma dessas faixa de cores. Como em (R, G, B) temos 8 bits em cada camada, o valor total do pixel é de 24 bits.

É possível a transformação do espectro RGB em matriz de cinza através de somas das matrizes, e muitos usuários optam pela alteração devido a complexidade do RGB ser maior e ser considerado por vezes menos eficiente (Chi et al., 2012).

O espectro HSV por sua vez apresenta três componentes: matiz, saturação e valor (derivado das seguintes palavras em inglês: Hue, Saturation e Value). A matiz representa a cor, a saturação o nível de pureza da mesma e o valor seria a intensidade do brilho.

No espectro RGB as cores são representadas por coordenadas de um cubo, já no HSV são representadas por um cone, podendo variar de 0 a 360 (no caso do H) e de 0 a 255 (no caso do S ou V). Outra diferença entre ambos espectros é que o primeiro necessita ser operado com cores exatas, já o segundo pode operar dentro de uma faixa de cor (Luz, et al., 2024).

No processamento de imagens, após a obtenção das imagens e definido a zona de interesse as quais desejam identificar, é realizado o pré-processamento. Nessa fase, além do tratamento de ruído, a definição de contornos e formas geométricas se faz necessária, como na segmentação de imagens (etapa essa que pode ser aplicada posteriormente para facilitar a extração de informações).

Esse pré-processamento aumenta a probabilidade de sucesso nas etapas posteriores.

A identificação de contornos pode ser feita nas bordas do objeto, identificando a transição dos valores 0 e 1 de imagens binárias (Chicalski, et al., 2024; Luz et al., 2024).

Objetivo

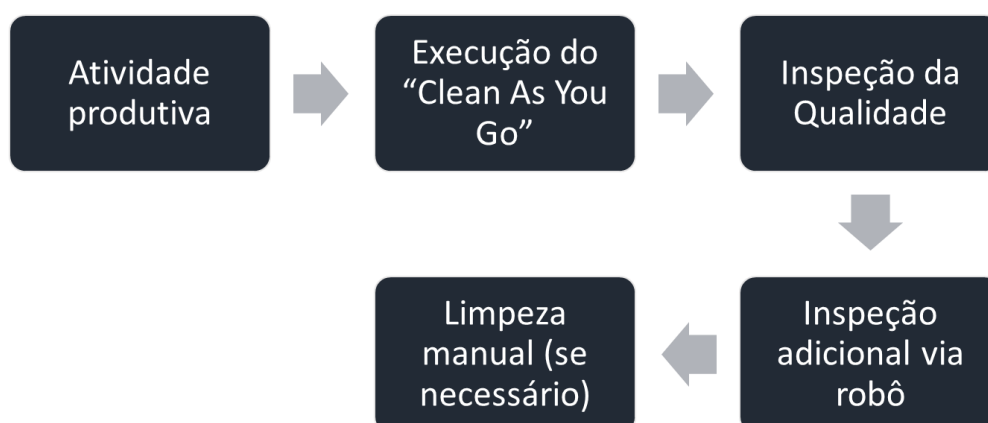
Este estudo, tem como objetivo, em um primeiro momento, analisar a viabilidade de aplicação de técnica processamento de imagens obtidas por câmera com luz infravermelha para detecção de quaisquer objetos estranhos, tais como porcas, parafusos, resíduos, entre outros itens do processo produtivo. Posteriormente, pretende-se avaliar a aplicação de técnicas de Aprendizado de Máquina para a geração de um sistema automático de detecção.

Método

No presente estudo propõe-se a utilização de câmera infravermelha, similar a câmera de vigilância com função de 360° com conexão WiFi com o celular e capacidade de monitoramento em ambientes com baixa luminosidade.

A câmera utilizada no experimento é dotada de 10 LEDs infravermelhos, com capacidade de detecção de até 10m, resolução 1920*1080P, e filtro automático para bloqueio do IR. O processo para detecção e remoção de FOs tem como proposta na Figura 1, a seguir.

Figura 1 - Fluxograma das operações previstas para detecção de FOs



Fonte: A autora.

A primeira fase consiste na realização das atividades produtivas de montagem e equipagem da aeronave. Seguindo a prática prevista pela AS9100, tem-se a necessidade de realização do “*Clean As You Go*” pelo operador após as atividades produtivas na aeronave, que irá contribuir com a primeira vistoria do ciclo de detecção de FOs no local e remoção dos itens identificados.

A metodologia proposta neste trabalho entrará após as primeiras inspeções e limpeza acima mencionadas, atuando como processo adicional de inspeção, para posterior remoção e limpeza de itens remanescentes.

No caso de identificação de ferramentas, resíduos impregnados, necessidade de remoção de algum item, será necessário a retirada de tais objetos estranhos conforme estratégia da área. Caso haja necessidade de remoção ou limpeza, é sugerida a reinspeção por uma das propostas desse estudo para eliminação completa de todos os objetos identificados.

A parte experimental desse estudo foi realizado no campus JUTA de engenharia mecânica da Universidade de Taubaté (UNITAU). Para simulação das condições reais presentes nas estruturas das aeronaves e fatores fotoluminescentes, foram utilizadas regiões do cockpit e cauda de um Supertucano EMB314 (Figuras 2 e 3), cedidos pelo DCTA (Departamento de Ciência e Tecnologia Aeroespacial) à UNITAU, localizado na cidade de São José dos Campos.

Figura 2 - Vista frontal da cauda do Supertucano 314.



Fonte: Figura do autor.

Figura 3 - Vista lateral da cauda do Supertucano 314.



Fonte: Figura do autor.

Além do Supertucano, foi utilizado no experimento um Xavante AT-26 (também doado pelo DCTA) e um motor do F5 (modelo J85, doado pela FAB - Força Aérea Brasileira), presentes no Campus Juta e patrimônios da UNITAU, assim como o Supertucano.

O Xavante (Figuras 4 e 5) foi o primeiro modelo de avião caça a jato fabricado no Brasil para missões de ataque a alvos aéreos e de superfície. Suas especificações se encontram no Quadro 1, a seguir.

Tabela 1 - Especificações técnicas - Xavante.

Fabricante:	Empresa Brasileira de Aeronáutica S.A. - Brasil, sob licença da Aeronáutica Macchi SpA – Itália
Motor:	turbojato Rolls-Royce Bristol Viper 20 Mk 540 de 3.410 lb de empuxo
Designação Militar:	AT-26
Comprimento:	10,65 m
Envergadura:	10,85 m
Altura:	3,72 m
Peso Vazio:	2.474 kg
Velocidade Máxima:	867 km/h
Alcance:	1.850 km
Armamento:	6 pontos fixos para até 1.814 kg de cargas externas, sob as asas, incluindo 2 metralhadoras Browning .50"

Fonte: <https://www2.fab.mil.br/musal/index.php/aeronaves-em-exposicao/55-avioes/306-xavante>.

Figura 4 - Vista Frontal do Xavante AT26 - Matrícula: 4514.



Fonte: Figura do autor.

Figura 5 - Vista lateral do Xavante AT26 - Matrícula: 4514.



Fonte: Figura do autor.

A seguir (Figura 6) se encontra a imagem do motor do F5 disponível no campus JUTA.

Figura 6 - . Motor do F5 - Vista lateral



Fonte: Imagem do autor.

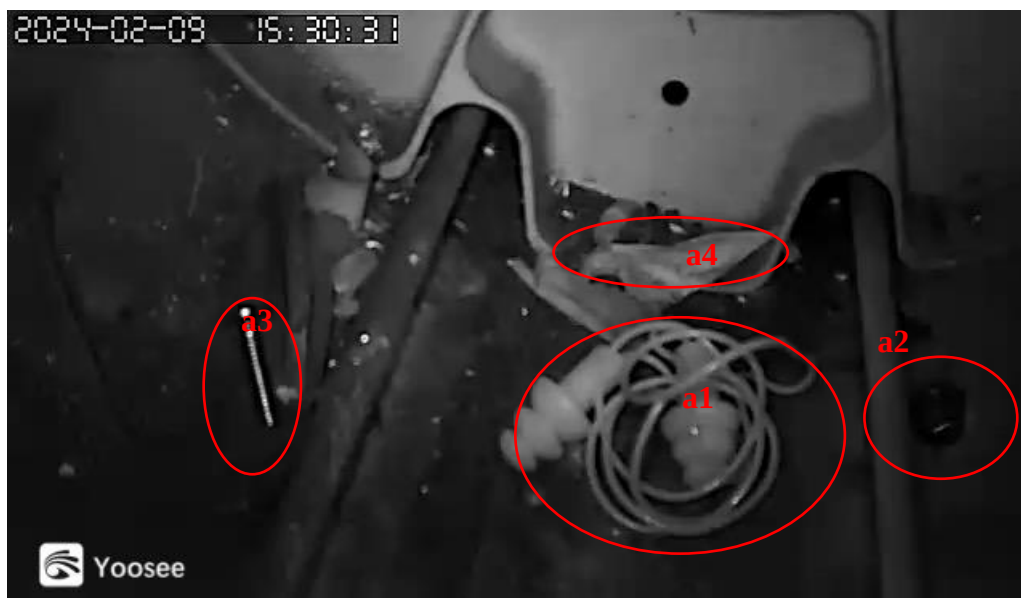
O experimento foi realizado em duas fases. Na primeira a localização dos objetos se deu de forma manual, mediante imagens capturadas pela câmera infravermelha posicionada nas estruturas do motor de um F5, Supertucano 314 e cone de cauda de um Xavante.

A segunda fase teve a detecção realizada de forma automatizada por meio de processamento de imagem, a partir do software Anaconda e biblioteca Yolo. As imagens foram obtidas pela mesma câmera infravermelha utilizada na fase 1 nas regiões do cockpit e cone de cauda do Xavante.

Resultados e Discussão

As Figuras 7 e 8 ilustram duas imagens obtidas da primeira fase, capturadas pela câmera infravermelha monitoradas pelo celular e conectados por WiFi. O monitoramento se deu de forma fácil pelo aplicativo “Yoosee” integrado com a câmera, onde foi possível controlar o giro da mesma e acompanhar as imagens em tempo real, bem como, registro automático de data e hora. Além dos objetos posicionados propositalmente dentro das partes da aeronave para identificação pela câmera, foi possível distinguir de outros detritos já presentes em tais estruturas, como sujeira e outras partículas do tempo.

Figura 7 - Região do estabilizador do Supertucano 314 (as imagens retratam os objetos posicionados propositalmente tais como: A) a1. fone de ouvido comumente utilizado no setor produtivo aeronáutico; a2. porca; a3. parafuso; a4. pedaço de luva.



Fonte: A autora.

Figura 8 - Região do cockpit do Supertucano (na imagem é possível verificar a luva de latex de borracha colocada para inspeção, indicada por a1).



Fonte: A autora.

A dificuldade maior para posicionamento dos objetos e câmera se deu na região do motor, devido desnível e tamanho da estrutura. Além disso, a região estava com as pás danificadas previamente por objetos estranhos em voo durante posse ainda da FAB. No entanto, esse pormenor não impediu a identificação dos objetos posicionados intencionalmente nesse experimento.

A adversidade no Supertucano e Xavante para estabilidade da câmera, embora menor do que no motor, também ocorreu devido as nervuras das estruturas, contudo, a rotação da câmera em 360° garantiu a visualização desejada do campo experimental.

A fase atual do projeto consiste na utilização de bibliotecas de processamento de imagens para detecção automática de FO. A linguagem utilizada para o desenvolvimento da aplicação é o Python dentro do ambiente Anaconda. O procedimento consiste nas seguintes etapas:

- Aquisição de foto do ambiente a ser monitorado, sem a presença de FO, para ser utilizado como padrão de uma imagem limpa.
- Aquisição de fotos do ambiente contendo objetos simulando FOs no ambiente.
- Execução do *software* para comparação da imagem padrão com cada as demais imagens para verificação da capacidade de identificação dos FOs.

A Figura 9, apresenta o resultado preliminar desta etapa da pesquisa, ilustrando a capacidade do software de, preliminarmente, identificar os objetos.

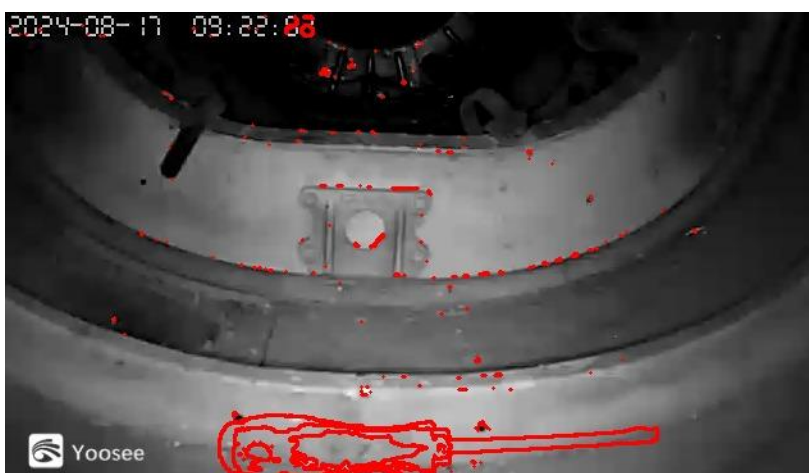
Figura 9: Resultado da etapa atual do projeto (a) Imagem padrão - local livre de objetos estranhos. b) ferramenta posicionada dentro da fuselagem do Xavante. d) Resultado da execução da aplicação de detecção automática).



(a)



(b)



(c)

Fonte: A Autora.

Considerações Finais

Os resultados obtidos na fase 1 se apresentaram favoráveis na totalidade das simulações frente às restrições de acesso, diferença de níveis das estruturas internas e baixa luminosidade, apresentando imagens bem definidas e de fácil identificação, assim como esperado.

A fase 2, embora ainda em andamento, até o presente momento também se mostrou eficaz para o objetivo proposto, sinalizando o local exato dos objetos estranhos posicionados.

A fase final deste projeto pretende analisar a viabilidade de aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina para a identificação mais precisa de objetos.

Com os resultados obtidos, em comparação com o estudo teórico desenvolvido, pode-se concluir que ambas as propostas poderão contribuir e atuar como substituto à inspeção a olho nú realizada pelo colaborador na busca por FOs, e consequente redução do risco associado às aeronaves.

O uso de software no processamento de imagem poderá contribuir com a qualidade, eficiência e eficácia das inspeções para detecções de FOs nas aeronaves, garantindo a segurança para a tripulação e tripulantes, sem depender somente da identificação humana.

Referências

INTERNATIONAL AEROSPACE QUALITY GROUP. **AS9100:2018** – Quality management systems – Requirements for aerospace standards, 2018.

INTERNATIONAL AEROSPACE QUALITY GROUP. **AS9146:2022** – Aerospace series – Quality management systems – Risk management, 2022.

CHI, W. C. et al. A bio-inspired adaptive perching mechanism for unmanned aerial vehicles. *Journal of Robotics and Mechatronics*, 2012. 642-648.

CHICALSKI, R. et al. Guide robot with artificial intelligence for visually impaired People. *Cuadernos de Educación Y Desarrollo*, v. 16, n. 3, p. 01-28, 2024.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION. AC N° 150/5210-24: Airport Foreign Object Debris (FOD) Management. Washington, D.C., EUA, 2010.

LUZ, T. D. S. et al. Desenvolvimento de um sistema de processamento de imagem para detecção de ovos de galinha em linhas de produção. *Revista Gestão e Conhecimento*, v. 18, n. 1, Mar 2024. ISSN 1677-9762.

MARANDI, S. M.; RAMANI, K.; TAJDARI, M. Foreign object damage on the leading edge of gas turbine blades. Aerospace Science and Technology, Tehran, n. 33, p. 65-75, 2014.

MELICHAR, M.; SKRIVANOVÁ, N. Foreign Object Damage Issued By Industry 4.0. 31 ST DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, Vienna, 2020. 0202-0208.

NATIONAL AEROSPACE STANDARDS. **NAS412:2023** – National Aerospace Standard for Non-Destructive Testing, 2023.

O'DONNELL, M. J. Airport Foreign Object Debris (FOD) Detection Equipment. FAA. Washington DC, p. 14. 2009. (150/5220-24).

TAAFFE, K. M.; ALLEN, R. W.; GRIGG, L. Performance metrics analysis for aircraft maintenance process control. Journal of Quality in Maintenance Engineering, v. 20, n. 2, p. 122-134, 2014.

TABOSA, J. M.; OLIVEIRA, A. S.; HAYAMA, A. D. O. F. Neural Networks Applied in the Identification of Soybean Rust. Cuadernos de Educación Y Desarrollo, v. 16, n. 1, p. 1978-1993, 2024.