



RASTREABILIDADE DE FERRAMENTAS USANDO RFID NOS PROGRAMAS DE MANUTENÇÃO DE AERONAVES

TOOL TRACEABILITY USING RFID TECHNOLOGY IN AIRCRAFT MAINTENANCE PROGRAMS

Carlos Eduardo Eufrásio Batista Silva | carloseduardo.eufrazio584@gmail.com | Faculdade Tecnologia São José dos Campos/SP

Matheus Carvalho Tozeti | matheus.tozeti@gmail.com | Faculdade Tecnologia São José dos Campos/SP

Luiz Alberto Nolasco Fonseca | luiz.nolasco@fatec.sp.gov.br | Faculdade Tecnologia São José dos Campos/SP

RESUMO

Na indústria aeronáutica, um dos maiores desafios atuais têm sido o controle e a rastreabilidade de ferramentas manuais utilizadas em processos produtivos e de manutenção, ou seja, saber onde se encontram. Nesse sentido, a rastreabilidade de ferramentas é essencial para executar um trabalho seguro e com eficiência operacional da manutenção de aeronaves. A implementação da tecnologia de identificação por radio frequência (RFID) emerge como uma solução promissora para otimizar a rastreabilidade. O objetivo desta pesquisa é propor meios diferentes para controlar, rastrear e encontrar as ferramentas prevenindo objetos estranhos associados aos danos por objetos estranhos em aeronaves após concluído o processo de manutenção. A metodologia usada contou com pesquisas em literaturas técnicas e aplicação da tecnologia de rastreabilidade com RFID. Os resultados preveem a otimização com a eliminação de objetos estranhos provenientes dos programas de manutenção. Conclui-se que a adoção do RFID corrobora para melhor segurança, garantindo que todas as ferramentas utilizadas em uma aeronave sejam devidamente rastreadas ao longo da manutenção, prevenindo a ocorrência de objetos estranhos que podem causar danos graves à aeronave. Além disso, a rastreabilidade aprimorada facilita a gestão de inventário, otimizando a alocação de recursos e reduzindo custos associados à perda ou substituição desnecessária de ferramentas.

Palavras-chave: Controle de ferramentas. Manutenção. Rádiofrequência. Rastreabilidade.

ABSTRACT

In the aeronautical industry, one of the biggest challenges today has been the control and traceability of hand tools used in production and maintenance processes, that is, knowing where they are. In this sense, tool traceability plays a crucial role in the safety and operational efficiency of aircraft maintenance. The implementation of radio frequency identification (RFID) technology emerges as a promising solution to optimize traceability. The objective of this research is to propose different means to control, track and find tools, preventing foreign objects associated with foreign object damage in aircraft after the maintenance process is completed. The methodology used included research in technical literature and application of RFID traceability technology. The results predict optimization with the elimination of foreign objects from maintenance programs. It is concluded that the adoption of RFID contributes to improving safety, ensuring that all tools used in an aircraft are properly tracked throughout maintenance, preventing the occurrence of foreign objects that can cause serious damage to the aircraft. In addition, improved traceability facilitates inventory management, optimizing resource allocation and reducing costs associated with loss or unnecessary replacement of tools.

Keywords: Tool control. Maintenance. Radio frequency. Traceability.

1 INTRODUÇÃO

A adoção de rádio frequência remonta aos anos 70, com a introdução da tecnologia para identificação de peças e componentes em todo processo de manufatura de aeronaves. O seu surgimento se dá a partir da Segunda Guerra Mundial quando se desenvolveu um sistema para identificação e distinção entre aeronaves aliadas e inimigas (Chang *et al.*, 2006).

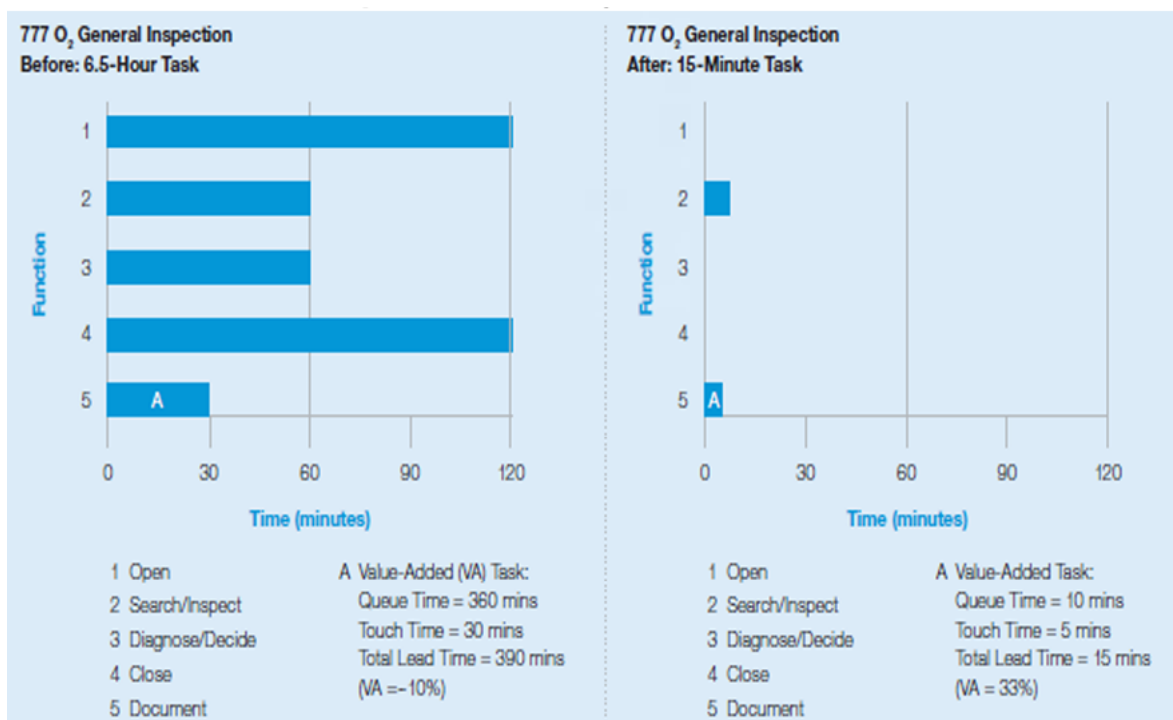
A aplicação do *RFID* é muito difundida em fabricantes de aeronaves americanas e francesas, como Boeing e Airbus. Entretanto no Brasil, limita-se à utilização somente no controle das ferramentas, por meio de identificação manual. O processo consiste na retirada da ferramenta de seu alojamento e em seu lugar é inserida uma plaqueta de identificação, individual do colaborador. Ao término da tarefa, a ferramenta é devolvida e o colaborador retira a sua chapa de identificação (Rozhdestvenskiy, 2010).

Segundo Moura e Moura (2019), a integração estratégica de humanos e máquinas surge como uma abordagem promissora para mitigar o estresse enfrentado pelo pessoal de manutenção de aeronaves. Ao delegar tarefas repetitivas, fisicamente exigentes ou que demandam análise de grandes volumes de dados para sistemas automatizados e inteligência artificial, libera-se o capital humano para atividades que exigem raciocínio complexo e para um ambiente de trabalho mais saudável (Silva *et al.*, 2024) e menos sobrecarregado, preservando o bem-estar físico e mental dos técnicos com aplicação da tecnologia assistiva (Benevides *et al.*, 2024).

A tecnologia *RFID* utilizada no controle e a rastreabilidade de ferramentas e equipamentos, proporciona menor carga mental e atua diretamente na diminuição de danos por objetos estranhos esquecidos. A implementação de um sistema *RFID* objetiva contribuir para o Sistema de Gerenciamento da Segurança Operacional (SGSO) e otimizar processos que necessitem de *checklists* visuais, reduzindo o tempo para liberação da aeronave, aumentando a confiança no controle de manutenção (Rozhdestvenskiy, 2010).

A Figura 1 ilustra uma inspeção de uma aeronave Boeing 777. A comparação entre o processo convencional e após a aplicação do uso de tecnologia *RFID* foi realizada utilizando peças e componentes como material de estudo. A aplicação do *RFID* embora não executada especificamente em ferramentas, observa-se um menor tempo para a execução das tarefas.

Figura 1 | Redução do tempo de inspeção com *RFID*



Fonte: Coop (2014).

O objetivo deste trabalho é aplicar e difundir o *RFID* para controle e rastreabilidade de ferramentas manuais, utilizadas nos processos de manufatura e manutenção de aeronaves, resultando em um nível maior de confiabilidade e otimização de todos os processos em que são empregadas (Coop, 2014).

Para a atingir este objetivo foram estabelecidos especificidades (Antônio *et al.*, 2024) para verificar o controle e a rastreabilidade das ferramentas com o emprego de tecnologia por rádio frequência, aumentando a confiança na segurança de voo, após os processos de manufatura e manutenção das aeronaves reduzindo a probabilidade de se encontrar objetos estranhos (Schönhardt *et al.*, 2017).

O sistema *RFID* possui um micro *RFID* passivo que dispensa dispositivos de cargas elétricas e armazena as informações relacionadas a ferramenta que serão captadas atendendo diferentes fatores e níveis específicos (Moura *et al.*, 2024). Antes e pós uso das ferramentas há risco de erros devido aos fatores humanos e a introdução da tecnologia *RFID* visa evitar tais erros (Grampes, 2010).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

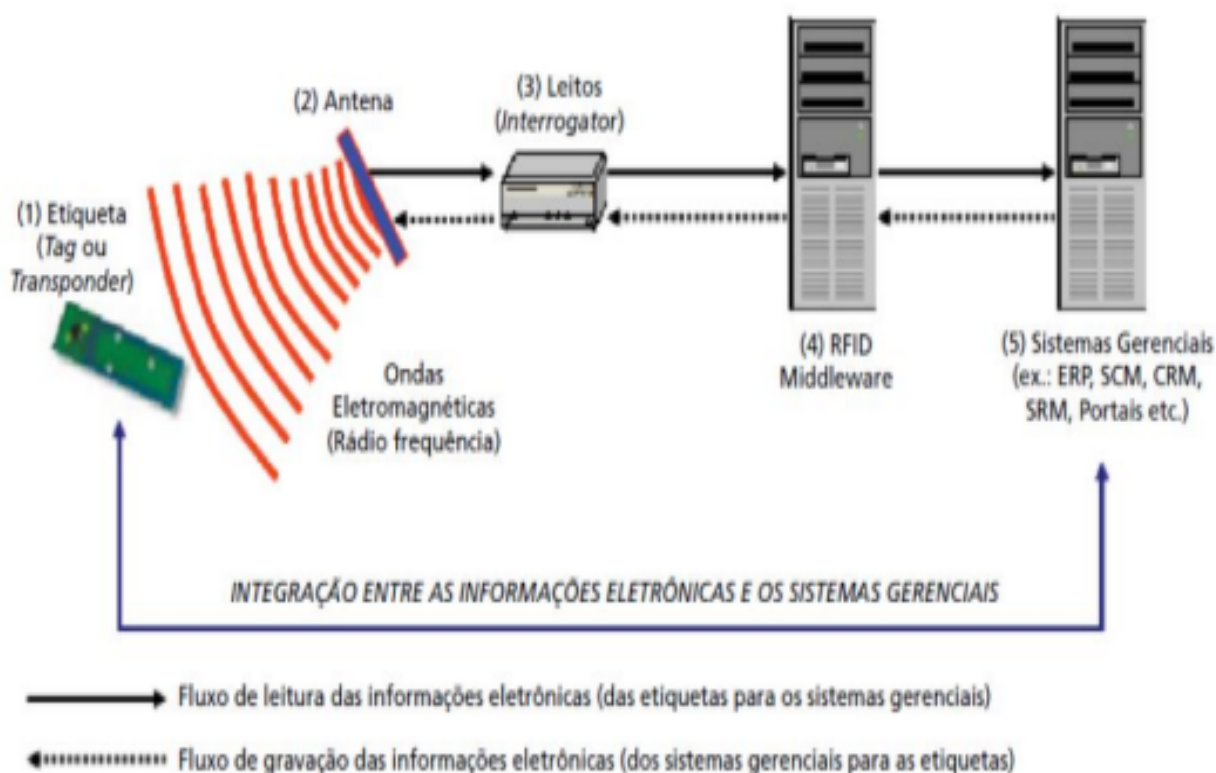
2.1 TECNOLOGIA RFID: ORIGEM E EVOLUÇÃO

A Identificação por Radiofrequência (RFID) é um sistema que possibilita a transmissão de dados sem fio por meio de ondas de rádio. Seu surgimento remonta à Segunda Guerra Mundial, quando foi empregada para distinguir aeronaves aliadas das inimigas (Mota, 2012).

A partir da década de 1980, essa tecnologia passou a ser amplamente utilizada para rastreamento e gerenciamento de objetos, impulsionando diversas pesquisas com o objetivo de desenvolver uma estrutura eficiente para novas aplicações (Sousa *et al.*, 2024).

Estudos e investigações resultaram na criação do Código Eletrônico de Produtos (EPC), um padrão que viabiliza a identificação automática de itens por meio de sinais de radiofrequência, consolidando-se como *RFID*. A comunicação por radiofrequência baseia-se nas ondas eletrônicas para transmissão de dados de identificação conforme ilustra a Figura 2 (Grampes, 2010).

Figura 2 | Transmissão de dados de frequência



Fonte: Grampes (2010).

As informações são armazenadas nas *tags* são posicionadas nos objetos de interesse. Essas informações são recebidas e lidas. Posteriormente os dados são captados pelo *RFID Middleware* e encaminhados aos sistemas de gerenciamento (Grampes, 2010).

O comprimento de onda mais adequado para a utilização neste projeto é o UHF, pois apresenta um bom alcance de leitura (3m) e possibilita a utilização de uma tag passiva de menor dimensão. Ao se comparar quatro faixas de frequência de identificação por radiofrequência (RFID) passiva: Baixa Frequência (LF), Alta Frequência (HF), Ultra-alta Frequência (UHF) e Micro-ondas. A imagem avalia essas faixas em quatro aspectos principais: alcance máximo de leitura, razão de transferência de dados, capacidade de leitura próximo de metais ou superfícies molhadas e tamanho da etiqueta passiva conforme ilustra a Figura 3 (Schönhardt *et al.*, 2017).

Figura 3 | Relação Entre a Frequência da Onda e Demais Fatores

	LF	HF	UHF	Microwave
Alcance máximo de leitura	< 0.5 m	1m	3m	1.5m
Razão de transferência de dados	Mais lenta			Mais rápida
Capacidade de leitura próximo de metais ou superfícies molhadas	Melhor			Pior
Tamanho da etiqueta passiva	Maior			Menor

Fonte: Schönhardt *et al.* (2017).

Sobre o alcance máximo de leitura, a LF (Baixa Frequência) possui o menor alcance máximo de leitura, geralmente inferior a meio metro. Isso significa que o leitor precisa estar bem próximo da etiqueta para conseguir identificá-la.

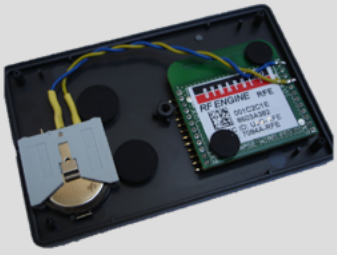
Ainda segundo Pedroso, Zwicker e Souza (2009), a HF (Alta Frequência) possibilita um alcance de leitura um maior de aproximadamente um metro. As micro-ondas alcançam até um metro e meio e a UHF (Ultra-alta Frequência) tem alcance de leitura de até 3 metros (Pedroso; Zwicker; Souza, 2009). Nesse sentido, a escolha da faixa de frequência RFID passiva ideal depende das necessidades específicas da aplicação.

Se o alcance de leitura for crucial e a presença de metais ou umidade não for um grande problema, o UHF pode ser a melhor opção. Para aplicações que exigem boa leitura perto de metais ou superfícies molhadas, mesmo com um alcance menor, o LF é a escolha mais adequada (Pedroso; Zwicker; Souza, 2009).

2.2 Tag RFID

A tag RFID são divididas em três grupos conforme mostra o Quadro 1.

Quadro 1 | Tipos e funcionalidade das tags

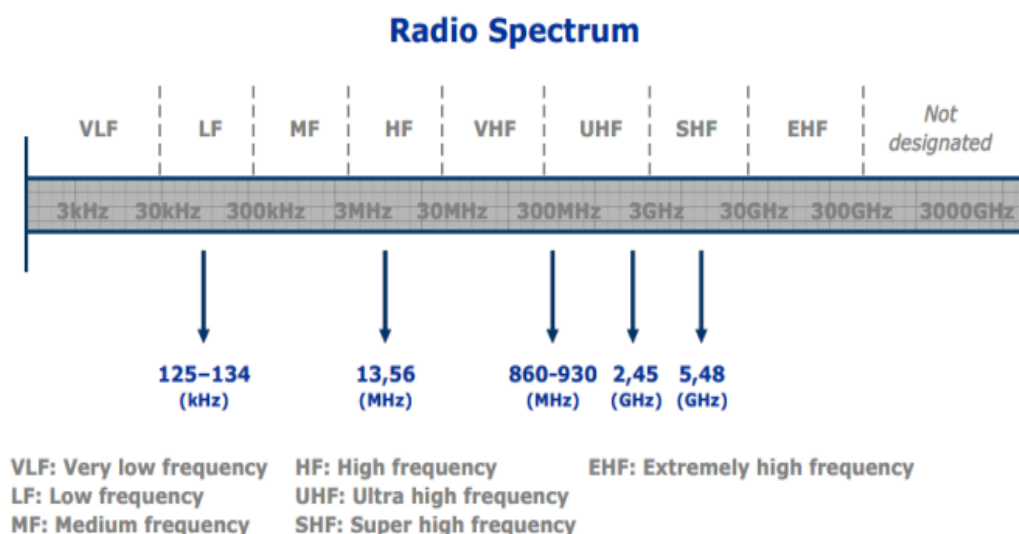
Tipo Tags	Particularidade funcional	Ilustração
Passiva	Não possuem bateria, pois a energia é fornecida pelo leitor	
Ativa	Equipada com bateria e estão habilitadas para fornecer energia para a antena e circuito da tag.	
Semipassiva	Possui bateria, circuitos e estão aptas para transmitir diagnósticos de volta ao seu sistema de sensores.	

Fonte: Fonte: Schönhardt *et al.* (2017).

2.3 Amplitude das tags RFID

A Figura 4 ilustra as classificações e níveis das frequências e as frequências comumente utilizadas no sistema RFID (Schönhardt *et al.*, 2017).

Figura 4 | Frequências Utilizadas no Sistema *RFID*



Fonte: Raimundo (2007).

Dentre as frequências existentes, a rádio frequência opera apenas na faixa compreendida entre 125kHz a 5,48GHz. Para fazer a leitura das etiquetas, a tecnologia *RFID* usam antenas que variam de forma, podendo ser do tipo portal, quando a *tag* passa pela antena, do tipo túnel, portátil e fixo principalmente quando há um fluxo intenso de controle e transmissão de dados como nos pedágios que requerem o processamento instantâneo de dados.

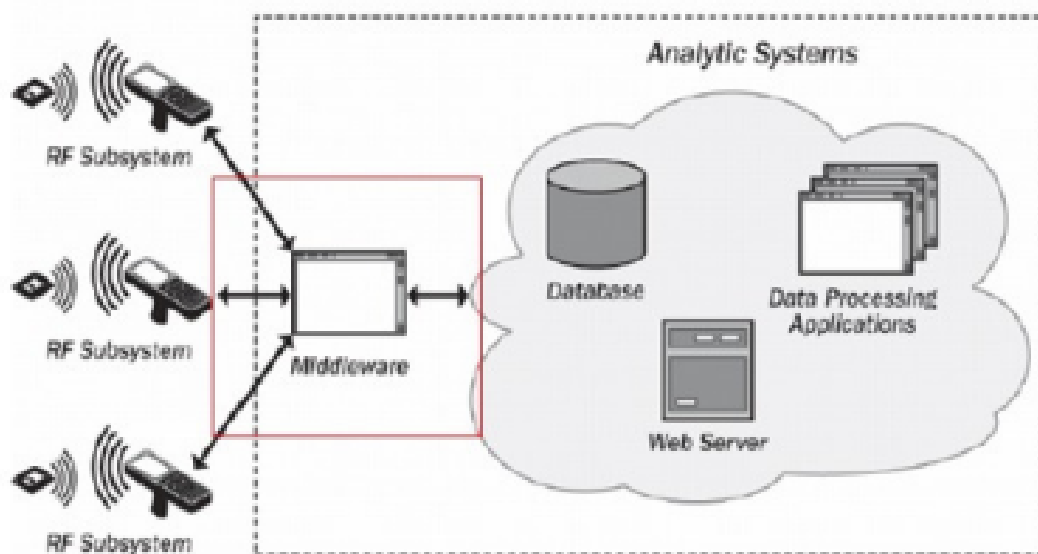
3 METODOLOGIA

A metodologia desta pesquisa delineou os procedimentos empregados para introduzir o uso da tecnologia RFID como gerenciamento e a rastreabilidade na retirada e devolução de ferramentas manuais evitando suscetíveis erros provenientes de fatores humanos com adoção de uma *tag* passiva, em razão de possuir um custo menor em relação às demais e dispensar o uso de bateria, fato que a torna menor em tamanho, o que é o ideal para ser inserido no interior de uma ferramenta.

3.1 Software middleware

O *middleware* é um *software* essencial que atua como uma camada de comunicação invisível entre diferentes aplicativos, sistemas operacionais, bancos de dados e serviços de uma rede distribuída como por exemplo tecnologia RFID conforme ilustra a Figura 5 no processamento da informação obtida pelo leitor.

Figura 5. Funcionamento do Middleware em um sistema RFID



Fonte: Schönhardt *et al.* (2017).

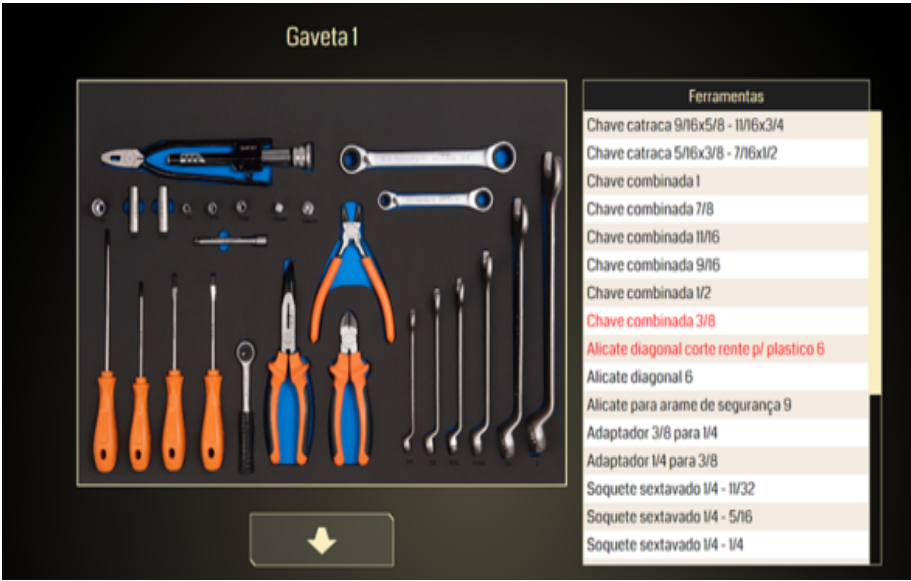
O middleware simplifica o desenvolvimento de aplicações complexas, fornecendo serviços comuns como gerenciamento de transações, autenticação, enfileiramento de mensagens e comunicação entre componentes distintos, permitindo que os desenvolvedores se concentrem na lógica de negócios específica de suas aplicações, sem se preocuparem com os detalhes da comunicação de baixo nível entre os diversos elementos do sistema.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Validação de protótipos

Os resultados são os mais promissores pela praticidade e repetibilidade em identificar e rastrear as ferramentas usadas na manutenção. Protótipos com inserção das tags *RFID* inseridos internamente, o sistema gerencia e controlar os itens conforme ilustra a Figura 6 em que as *tag RFID inseridas internamente nas ferramentas*. Ao se usar uma ferramenta a retirando do seu alojamento, a *tag* emite um sinal à antena que envia a informação até o *middleware*.

Figura 6 | Funcionamento dos protótipos: inventário completo



Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

4.2 Histórico de uso da ferramenta

A devolução da ferramenta é realizada de acordo com o acesso do usuário que a retirou. O sistema gerencial processa os dados que estão armazenados no *RFID* e as informações coletadas pelo sistema preenchem os campos do histórico de movimentação, conforme ilustrado pela Figura 7.

Figura 7 | Histórico de movimentação dos protótipos: inventário completo

Histórico								
Buscar								
Referência	Descrição	Gaveta	Data Retirada	Hora Retirada	Data Devolução	Hora Devolução	Usuário	Setor
44033501	Faca industrial 183mm	7	22/09/2022	9:45	22/09/2022	9:46	Tramontina	Tramontina
44004181	Alicate curvo 8	6	22/09/2022	9:45	22/09/2022	9:46	Tramontina	Tramontina
44002126	Alicate diagonal corte rente para plástico 6	6	22/09/2022	9:45	22/09/2022	9:45	Tramontina	Tramontina
44515000	Cabeça intercambiável chave catraca 9x12 - 1/4	5	22/09/2022	9:40	22/09/2022	9:41	Tramontina	Tramontina
44670100	Chave combinada 1/4	3	22/09/2022	9:36	22/09/2022	9:36	Administrador	Admin
44130021	Chave de fenda ponta chata 5x100 - 3/16x4	1	17/09/2022	11:02	17/09/2022	11:02	Tramontina	Tramontina
44130021	Chave de fenda ponta chata 5x100 - 3/16x4	1	17/09/2022	11:02	17/09/2022	11:02	Tramontina	Tramontina
44130011	Chave de fenda ponta chata 3x100 - 1/8x4	1	17/09/2022	11:02	17/09/2022	11:02	Tramontina	Tramontina
Chave de fenda ponta chata 3x100 - 1/8x4								
< Página 1 de 1 >								

Fonte: Elaborado pelos Autores (2024).

No histórico é possível acompanhar as informações em cada campo, que é preenchido após o acesso no sistema ao coletar a ferramenta para uso. Não se pode negar e é preciso antecipar para manter a segurança do processo e eliminar riscos ligados aos fatores humanos (Moura *et al.*, 2021). É possível analisar datas e horários, movimentação de usuário e setores. Para o envio do relatório é necessário o cadastro do e-mail do administrador.

A incidência de dano por objeto estranho esquecido (*F.O.D - Foreign Object Debris*) pode impactar diretamente nos processos de manutenção de aeronaves, pois comprometem a segurança quando em operação (Jimenez *et al.*, 2011).

4.3 Eliminar a incidência de danos e encontro de objetos estranhos (F.O.D).

A eliminação de anomalias e eventos causados por objetos estranhos (F.O.D. e F.O.E.) é de suma importância na manutenção de aeronaves, pois previne danos críticos a componentes vitais como motores, superfícies de controle e sistemas hidráulicos, que podem ser causados pela ingestão ou impacto de objetos estranhos (Finkenzeller, 2003).

Objetos estranhos esquecidos representa um risco significativo à segurança de voo, podendo levar a falhas catastróficas, além de gerar custos elevados com reparos, substituições de peças e atrasos operacionais. Portanto, a implementação de práticas rigorosas de prevenção e remoção de objetos estranhos é fundamental para garantir a integridade das aeronaves, a segurança das operações e a eficiência da manutenção conforme ilustra a Figura 8.

Figura 8 | Manchete de jornal apresentando incidente em avião da Boeing



Fonte: G1 (2010).

A Figura 9 ilustra um exemplo causado por fatores humanos em que a ferramenta foi deixada no motor de uma aeronave.

Figura 9 | Ferramenta é encontrada no motor da aeronave

Ferramenta é encontrada dentro do motor de avião após um mês desaparecida

26 de fevereiro de 2024 por Gabriel Benevides



Fonte: Aeroflap (2024).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os atuais métodos de rastreabilidade de ferramentas e gerenciamento dos seus usuários na maioria dos casos ainda são convencionais e pouco eficazes com muitas falhas nos procedimentos e perda de informações causadas por fatores humanos dentre outras variáveis que influenciam diretamente na manufatura e segurança do segmento aeronáutico.

Com a aplicação da tecnologia de rádio frequência pode-se administrar, controlar e rastrear as ferramentas, equipamentos e consumíveis. Com a introdução e utilização do *RFID*, houve uma maior responsabilidade organizacional, aumento da produtividade e da qualidade em todos os processos, sobretudo na manutenção das aeronaves. O desenvolvimento da tecnologia de rádio frequência poderá ser difundida para outras áreas auxiliando no controle, qualidade e segurança de todos os processos de fabricação e manutenção das aeronaves.

A integração das áreas de suprimentos e linhas de processo otimizará atividades, sem a perda ou danos causados por objetos estranhos originados da perda de ferramentas durante a manutenção das aeronaves.

Conclui-se que o desenvolvimento e aplicação da tecnologia de armazenamento e transmissão de dados via *RFID* em ferramentas e equipamentos assegura a segurança e o não esquecimento ou desvio das ferramentas durante a atividade de manutenção.

REFERÊNCIAS

AEROFLAP. 2024. Revista eletrônica: Ferramenta é encontrada dentro do motor de avião após um mês desaparecida. Disponível em <https://www.aeroflap.com.br/ferramenta-e-encontrada-dentro-do-motor-de-aviao-apos-um-mes-desaparecida/>. Acesso em 19/06/2024.

ANTÔNIO M. R., REGINA, O. M., GOUSSAIN, B. G. C. S., SILVA, M. B. (2024). Neuroergonomics approach in the workplace aiming to standardize movements and increase workers' sense of well-being. 24(10), 472–482. <https://doi.org/10.53660/CLM-3313-24H27>

BENEVIDES, M. P.; XAVIER, K. R. S. L.; *et al.* (2024) Sign Talk Assistive Technology: real-time recognition of the libras typical alphabet using artificial intelligence. RGSA, v. 18, n. 12, p. e010610, 2024. DOI: <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n12-214>

CHANG, Y., Oh, C., WHANG, Y., LEE, J., KWON, J., KANG, M. S., PARK, J. e UNG, Y. Development of RFID enabled aircraft maintenance system, 2006 IEEE International Conference on Industrial Informatics, Singapura, 2006.

COOP, P. (2014) RFID integrated solution system optimizes maintenance efficiency. Aero magazine, [S.l.], p.05-09, 2014. Quadrimestral. Disponível em: www.boeing.com/commercial/aeromagazine/articles/2012_q1/2 Acesso em: 02 dez. 2014.

FINKENZELLER, K. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. 2ª Edição. Munich: Wiley & Sons LTD, 2003.

G1. Jornal da Globo: Ferramenta solta causou fogo em Boeing 787, diz jornal. Disponível em <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2010/11/ferramenta-solta-causou-fogo-em-boeing-787-diz-jornal.html>. Acesso em 19/06/2024.

GRAMPES, J. A. Aplicabilidade da tecnologia RFID na rastreabilidade alimentar. Disponível em: <http://si.unibalsas.com.br/wpcontent/uploads/2010/10/TCC-Jorge-Adriano-Grampes.pdf> Acesso em 28mar2014.

JIMENEZ, C., DAUZÈRE-PÉRÈZ, S., FEUILLEBOIS, C. e PAULY, E. Simulation of aircraft maintenance improvement using RFID systems. International Conference on Industrial Engineering and Systems Management, 2011.

MOTA, R. P. B. RFID - Radio Frequency identification. São Paulo: Instituto de Matemática e Estatística da USP. Monografia desenvolvida para a disciplina de Computação Móvel do Programa de Pós-graduação em Ciência da Computação, 2012.

MOURA, J. L.; MOURA, R. A. (2019). Interação humano-máquina no sistema produtivo da indústria 4.0 visando aumentar a produtividade e reduzir lesões por esforços repetitivos. Fatec de São José dos Campos/SP. DOI: <https://doi.org/10.37619/issn2447-5378.v1i6.213.217-227>

MOURA, R., MARQUES, D., COSTA, J., & SILVA, M. (2021). A urbanidade da higiene ocupacional na era digital e o negacionismo social da antecipação e prevenção. 2021. *Sodebras* 16(184), 29-33. ISSN 1809-3957. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.16.2021.184.29>

MOURA, R. A. DE, SANTOS, D. F. A., GOUSSAIN, B. G. S., OLIVEIRA, M. R. DE, & SILVA, M. B. (2024). Design of Experiments (Doe) for non-specialists in statistics in the food industry: trials with popcorn. RGSA, 18(10). <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n10-229>

PEDROSO, M. C.; ZWICKER, R.; SOUZA, C. A. DE. RFID adoption: framework and survey in large Brazilian companies. Industrial Management System, v. 109, n. 7, p. 877–897, 2009.

RAIMUNDO, P.J.A. 2007. RFID Technology Application in the Aviation Industry. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Aeronáutica) - Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2007.

ROZHDESTVENSKIY, D. Product Tracking and Direct Parts Marking System Optimization. Tese - The Concordia Institute for Information Systems Engineering, Concordia University, Montreal, Quebec, Canadá, 2010.

SCHÖNHARDT, CFG, SANTOS, AM, RIBAS, DC, LOZADA, FJB, JESUZ, KAP, CARNEIRO, LN, ANDRADE, D. (2017) Aplicação da Etiqueta de Radiofrequência e Botão de Memória na Manutenção Aeronáutica. Revista Conexão Sipaer, Vol. 8, No. 1, pp. 1624.

SILVA, E. A.; CAMARGO, A. A.; SILVA, M. B.; MOURA, R. A. (2024). Neuroergonomía y Tecnologías inmersivas para lograr un envejecimiento saludable sin dolor y además sin ortesis. Revista Exatas. V.30. UNITAU. DOI: <https://doi.org/10.69609/1516-2893.2024.v30.n2.a3916>

SOUSA, V. J. DE RICHETTO, M. R. S., MOURA, R. A. DE, OLIVEIRA, M. R. DE, & SILVA, M. B. (2024). Analysis of management practices in a non-governmental organization. Revista De Gestão Social E Ambiental, 18(11), e09646. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n11-045>

“O conteúdo expresso no trabalho é de inteira responsabilidade dos Autores.”

