

Considerações acerca da aplicação de sensores IOT no processo de manutenção 4.0 do setor de aviação

| **Luiz Cláudio Gonçalves**
FATEC ZONA SUL

| **Carlos Vital Giordano**
FATEC ZONA SUL

| **Jozélio Moreira Pereira**
FATEC ZONA SUL

| **Paola Thaller Castanha**
FATEC ZONA SUL

RESUMO

Objetivo: Esta investigação busca avaliar o uso da tecnologia IoT, e como a mesma auxilia os processos de manutenção de aeronaves, mais especificamente um Boeing 737-800.

Métodos: Para alcançar o seu objetivo a investigação faz uso de um estudo de caso realizado em uma importante empresa do setor de aviação.

Resultados: A pesquisa evidenciou a importância dos sensores IoT no retorno do Boeing 737-800 à operação, e com isso, revelou que essa tecnologia representa um papel fundamental no processo de manutenção das aeronaves, no que se refere à coleta e envio de dados para identificação, antecipação e resolução dos possíveis problemas ocorridos nas mesmas.

Conclusão: Considera-se que o propósito da pesquisa foi alcançado, haja vista que, foi observado que a empresa, faz uso de diversas sensores e sistemas IoT em seu processo de manutenção visando otimizar, tanto o tempo de execução, quanto a redução de custos dos serviços de manutenção, mantendo assim, as aeronaves o mínimo de tempo possível no solo, garantindo o seu retorno rapidamente à operação, isso com segurança e qualidade.

Palavras-chave: Confiabilidade, Manutenção 4.0, Boeing 737-800, Disponibilidade de Ativos.

■ INTRODUÇÃO

Conforme Hermann, Pentek e Otto (2015), ao longo dos séculos, as revoluções industriais se revelaram fruto de inovações tecnológicas, desde a criação da máquina a vapor, seguida pela eletricidade e a produção em série. O conceito Indústria 4.0 surgiu, em meados de 2010 na Alemanha, com isso houve um crescente interesse acadêmico, científico, empresarial e político sobre o tema, que vem se expandido rapidamente, muito em função do fato de que, pela primeira vez, uma revolução industrial está sendo observada antes de se tornar, concretamente, realidade. Essa nova revolução é caracterizada pelo modo como se usam as tecnologias digitais para a fabricação de novos produtos, de forma rápida, com resposta ágil à demanda, otimização e customização dos processos produtivos.

Carvalho e Duarte Filho (2018) destacam que a indústria 4.0 não é simplesmente um novo conceito, mas sim um conjunto de definições e tecnologias que em sinergia, proporcionam diversos benefícios na área industrial, redundando na evolução da manutenção 4.0 que apresenta características particulares.

Em destaque: a otimização do processo de produção; o monitoramento e avaliação da integridade do equipamento para definir e executar ações de manutenção antes que alguma falha ocorra; otimização dos parâmetros operacionais visando redução no consumo de energia; lidar com eventos inesperados e conectar-se não apenas com outras máquinas e recursos de produção, mas também com a equipe envolvida na produção, aproveitando a quantidade de informações e dados disponíveis (FERREIRO et al., 2016, p.4).

Conforme Civerchia *et al.* (2017) a manutenção 4.0 é um dos desdobramentos da Indústria 4.0, e é entendida como a evolução das manutenções preventiva e preditiva, que utiliza a instalação de sensores nos equipamentos visando o monitoramento constante de vibrações, temperatura e outras condições. Os dados assim coletados são analisados por programas de computador indicando os melhores períodos para as intervenções de manutenção, aumentando a disponibilidade do equipamento.

Na visão de Oliveira e Simões (2016), o desenvolvimento das organizações frente a indústria 4.0 está associado a compreensão e utilização de algumas práticas como: sistemas ciber-físicos, *Big Data*, a Internet das coisas (IoT) e o compartilhamento de dados em nuvem (*cloud computing*), cenário em que numerosos objetos dos processos rotineiros estão conectados à internet e se comunicando mutuamente. Essa conexão acontece, por meio de sistemas, com capacidade de coletar informações em tempo real e criar ações de resposta conforme a necessidade.

Para Bagheri (2015), a IoT é responsável pela coleta de informações no espaço físico, conectando diversos dispositivos entre si. No entanto, para Afonso (2017), apenas 58,0% das

empresas brasileiras apontam conhecimento sobre a relevância e utilização de tecnologias digitais em seus processos. Esse fato revela a oportunidades das empresas em adquirir conhecimentos para adaptar suas atividades e buscar o desenvolvimento da indústria 4.0 diante seus concorrentes.

Tendo em vista, o cenário descrito anteriormente, o presente artigo busca descrever e analisar como os sensores IoT contribuem para a melhoria do processo de manutenção da indústria aeronáutica. Nesse sentido, o artigo aborda o processo de manutenção 4.0, que faz uso da tecnologia IoT visando o planejamento e controle preventivo dos ativos da indústria de aviação, com foco na melhoria da operação.

■ MÉTODOS

Com base nas informações contidas nos parágrafos anteriores, o presente artigo procura investigar o seguinte problema de pesquisa: Como os sensores IoT impactam no processo de manutenção 4.0 do setor de aviação?

A partir desse problema de pesquisa essa investigação tem como objetivo geral: Avaliar como os sensores IoT impactam no processo de manutenção 4.0, do setor de aviação auxiliando na melhoria da operação.

Em se tratando do tipo de pesquisa utilizado, o trabalho foi embasado em uma pesquisa quantitativa e bibliográfica, apoiada em um estudo de caso realizado na empresa Gol Linhas Aéreas Inteligente, situada na cidade de São Paulo (SP), responsável pela manutenção das aeronaves Boeing 737-800, onde foi investigado o como é executado processo de manutenção e as tecnologias utilizadas para a otimização da operação das aeronaves.

Por fim, os instrumentos de coleta de dados que foram utilizados na pesquisa foram: a análise crítica da literatura existente sobre o tema: em livros e artigos científicos nacionais e internacionais, também em documentos fornecidos pela empresa investigada. Na busca por uma maior confiabilidade na coleta de dados, foi realizada uma entrevista com supervisor de manutenção da empresa e, também, uma visita técnica às instalações da mesma, visando a observação e análise *in loco* do processo de manutenção executado.

■ REFERENCIAL TEÓRICO

Manutenção 4.0 na indústria aeronáutica

Segundo Vianna e Yoneyama, (2017), o recente interesse por parte de investigadores, profissionais e organizações da indústria aeronáutica na aplicação de técnicas de manutenção

preventiva, corretiva e preditiva apresenta o potencial que elas podem trazer para a mitigação dos impactos causados por eventos não previstos, dado ao alto custo de uma aeronave.

Conforme Tu *et al.* (2001); Moayed e Shell (2009); Machado e Urbina (2015), classificam o processo de manutenção aeronáutica em três grandes tipos:

- a) Manutenção preventiva - é a prática de manutenção que busca substituir componentes ou subsistemas antes que eles falhem, normalmente com frequência predeterminada ou em virtude de inspeção e teste. O objetivo é manter a operação contínua do sistema, nesse caso a aeronave;
- b) Manutenção corretiva - é aquela que ocorre após a identificação e diagnóstico de um problema (*condition monitoring*). Durante esse diagnóstico, os técnicos de manutenção têm que identificar as partes que falharam e fazer as respectivas ações de reparo; e,
- c) Manutenção preditiva- leva em conta o acompanhamento incessante dos limites de operação de um componente ou sistema (*on-condition*). Verificando qualquer tendência para a ocorrência de uma falha funcional do componente ou sistema, removendo este para manutenção.

Para Stadnicka e Ratanayake, (2017) o processo de manutenção aeronáutica desempenha um papel vital, de modo a garantir a operação segura das aeronaves, compensando os desgastes causados pelos ciclos de voo, ciclo esse que compreende desde o momento em que o avião decola até o seu próximo pouso.

No entanto, na visão de Yang e Yang, (2012) a manutenção aeronáutica é realizada de modo a assegurar que, no momento e local certos e por meio de uma correta sequência de tarefas, o plano original de voo é executado com os menores custos de manutenção. A manutenção pesada, designada como manutenção em *hangar*¹, a qual é realizada nesse mesmo contexto, é categorizada em quatro letras, A, B, C, e D sendo que a primeira, apresenta o menor pacote de trabalhos e a última implica uma intervenção na aeronave mais profunda, onde a estrutura do avião é inspecionada por completo. Todas essas categorias entram na definição de manutenção planejada, conforme SAHAY (2012).

Raza & Ulansky, (2017) argumentam que, por meio da manutenção 4.0 é possível identificar com maior precisão, problemas iminentes, prever desgaste, deterioração dos componentes e ainda atuar de forma eficaz na prevenção de falhas com a substituição e reparação dos elementos danificados. Esse tipo de manutenção tem como base, a tecnologia

¹ Hangar pode ser entendido como a uma construção semelhante a um galpão destinado a abrigar materiais e mercadorias diversas ou colheitas. Nesse caso é o local, que abriga o avião. (ANAC, 2019).

de prognósticos e de administração do *status* dos componentes, a qual possibilita determinar que o tempo de vida útil remanescente dos equipamentos possa ser previsto de uma forma mais apurada.

Segundo Vilela (2010) e Ribeiro (2009) para que se obtenha êxito no processo de manutenção preventiva em aeronaves é importante o conhecimento de determinados aspectos, como:

- a) Classificação das etapas de manutenção em aeronaves;
- b) Período em que ocorre o desgaste dos equipamentos alterando o estado inicial da aeronave, devendo ser considerados tempo de atividade (horas de voo) e o tempo cronológico da instalação dos componentes;
- c) Tempo limite para troca de determinados componentes, objetivando o funcionamento adequado da aeronave. A grande maioria dos limites permissíveis são estabelecidos pelos próprios fabricantes, outros derivam da própria experiência do operador. Muitas vezes, a experiência recomenda alterações nos limites iniciais e uma boa parte dos chamados boletins de serviço ou ordens técnicas se ocupam dessas alterações; e,
- d) A manutenção preventiva visa de forma sistêmica, o controle do processo de deterioração dos componentes, a fim de mantê-los dentro do padrão dos limites aceitáveis. Considerando que, o principal objetivo é garantir a segurança do voo, a manutenção preventiva quando executava adequadamente, apresenta-se como um procedimento essencial para a diminuição das ocorrências da manutenção corretiva.

Para Vilela (2010) os sistemas de manutenção podem ser divididos em três fases, sendo essas: Planejamento, Execução, Supervisão.

- a) O planejamento consiste na elaboração de um programa de manutenção de acordo com as instruções do fabricante da aeronave. Esse deve abranger os períodos, os intervalos com que devem ser realizadas as inspeções de substituições, evitando o desgaste excessivo dos componentes, objetivando a segurança de voo. É necessária também, a padronização dos procedimentos de manutenção, adequadas a realidade da empresa, ressaltando que isso não pode sobrepor à qualidade do serviço.
- b) Para que a execução seja realizada com sucesso, faz-se necessária a existência de pessoal de manutenção capacitado e também instalações, equipamentos, ferramentas e peças adequadas. Vale lembrar que todo e qualquer serviço de manuten-

ção deve estar de acordo com o manual de manutenção do fabricante e da oficina, sendo que esse deve sempre permanecer de fácil acesso ao mecânico executante. Isso feito, entra em ação o mecânico inspetor, (que obrigatoriamente, não pode ser o mecânico executante) para validar a qualidade dos serviços realizados. As oficinas homologadas devem executar suas atividades de manutenção, modificação e reparo, de acordo com os padrões do Regulamento Brasileiro de Homologação Aeronáutica (RBHA) números 43 e 145, essas regulamentações devem ser devidamente registradas nas cadernetas de registro de manutenção, conforme a Instrução da Agência Nacional da Aviação Civil (ANAC, 2019).

- c) A supervisão do sistema de manutenção é importante para assegurar permanentes condições de aeronavegabilidade das aeronaves e o máximo de disponibilidade dos componentes. Para tal, é relevante a troca de informações entre operadores e fabricantes, para que quando necessário, sejam efetuadas as revisões dos manuais de fabricantes, envio de boletins de serviço e alertas de segurança, ordens técnicas e modificações mandatórias, provenientes da experiência dos operadores. Identificando a ineficiência ou vulnerabilidade do sistema de manutenção, é necessária a atualização do mesmo, o qual nunca deve se sobrepor aquilo que determina o fabricante, ou seja, o programa poderá ser mais restritivo, entretanto, não mais permissivo.

Na visão da ANAC (2019) e Gregório (2019) há quatro tipos de manutenção de aeronaves, que de forma periódica devem ser realizadas nos aviões, sejam esses particulares ou de companhia, onde é decidido quais dos tipos de manutenção serão feitas de acordo com o tempo de utilização:

- a) Manutenção de Linha - Considera a manutenção com menor complexidade. Essa ocorre durante o trânsito das aeronaves dentro do aeroporto. Sendo assim, a mesma ocorre no período em que a aeronave permanece no aeroporto, após ter aterrissado e esteja se aguardando para decolar em breve para outro destino. Então, nesse modelo de manutenção, checka-se apenas se está tudo correto para a próxima saída.
- b) Manutenção de Hangar ou Diária – É mais complexa do que a manutenção de linha, acontece normalmente quando a aeronave tem um tempo de espera entre os voos superiores a 6 horas. Nesse tipo de manutenção, são realizados os serviços e manutenções mais demoradas
- c) Manutenção de *Checks* de letras A, B, C, D - Nesse tipo de manutenção de aeronave, são feitos serviços que demandam trabalhos mais longos. Esses requerem

diferentes técnicos (mecânico de aviação comercial) para cumprir e registrar uma vasta agenda de atividades em diversas áreas. A manutenção de *Checks* de letras A, B e C são comumente chamados de “*checks* de rotina”, pois dependem diretamente das horas de voo da aeronave. Portanto, a cada vencimento desse prazo, a manutenção deve ser refeita. Esse tipo de manutenção é executada conforme cada código: *Check A*, feita uma revisão cerca de uma vez por mês durante a noite. Já o *Check B*, realizada uma revisão com base nos dias do calendário ou horas de voo da aeronave. Nesse caso, seu tempo de duração é de, aproximadamente 48 horas. Para o *Check C* é feita uma revisão de 12 a 18 meses, a qual requer que o avião deixe de operar durante um bom período. Por fim, no *Check D* é executada uma perícia mais profunda na aeronave, também conhecida como *Heavy Check*. Nessa, o avião é totalmente desmontado e remontado para a manutenção, inclusive a pintura da aeronave é refeita, deixando-o como novo.

Assim, a manutenção do tipo *Check D* também é controlada pelas horas de voo da aeronave. Essa deve ser feita, em média, a cada 3 ou 4 anos ou no caso dos aviões que estão chegando ao seu fim de vida ou *phase out*.

Planejamento da execução do Programa de Manutenção

De acordo com o MGM (2020) o planejamento do processo de manutenção aeronáutica é executado pela Coordenadoria de Planejamento de Serviços (CPS), a qual analisa todos os parâmetros para a execução de cada tarefa em cada aeronave, verificando com o setor de Coordenação de Voo, as datas previstas para parada das aeronaves, realizando a programação das tarefas. O planejamento adequado das tarefas deve-se considerar, os seguintes aspectos logísticos e humanos:

Recursos disponíveis para realizar tarefas próximo do vencimento de acordo com horas, ciclos ou tempo calendário.

- a) Tempo de solo da aeronave.
- b) Homens-hora necessários para execução das tarefas.
- c) Mão de obra disponível na localidade.
- d) Nível de Homologação da Base compatível com o nível da tarefa.
- e) Disponibilidade de ferramentas e material na localidade.
- f) Os executantes e colaboradores designados por Item de Inspeção Obrigatória (IIO). Tanto nas Bases de Manutenção, quanto no Hangar, esses são responsáveis pela execução das tarefas programadas e devem efetuar os registros de manutenção condizentes com o trabalho realizado, conforme instruções. Tais registros devem

contemplar os resultados constatados, incluindo a descrição detalhada das discrepâncias observadas durante o cumprimento da tarefa. Para que esse processo se torne efetivo a empresa faz uso dos pilares da indústria inteligente 4.0 (MGM, 2020).

Sensores IoT (*Internet of Things*)

Moon (2016) afirma que *Internet of Things* (IoT) trata-se de um ecossistema que conecta objetos físicos a uma rede, para trocar, armazenar, coletar dados de máquinas e sistemas por meio de uma aplicação de *software*.

Já Magrani (2018) destaca que, IoT abrange a comunicação e processamento de diversos tipos de equipamentos, e se constitui de um paradigma tecnológico, no qual objetos físicos estão conectados na rede e são acessados pela internet, sem restrição de momento ou lugar. Segundo Dias (2016) o IoT é um conceito em que o mundo real e o mundo virtual se conectam, criando um mundo inteligente nos diferentes segmentos da sociedade, o maior aliado da IoT é o *Big Data*, que ocasionam enormes possibilidades na criação e ampliação de novos negócios, além de serem muito importante para a Indústria 4.0.

De acordo com Taurion (2013) *Big Data* não trata somente volume de dados, existe a necessidade desses dados não estruturados serem validados nas empresas e fora delas, para que possam ser utilizados com segurança e contar com a velocidade adequada, para que possam ser tratados em tempo real, sem perderem valor quando utilizados nos negócios. Carvalho e Duarte Filho (2018) argumentam que a indústria 4.0 não é simplesmente um novo conceito, mas sim um conjunto de definições e tecnologias que em sinergia podem proporcionar diversos benefícios às indústrias. Teles (2018) afirma que, essa nova revolução industrial traz como marca, o conjunto de mudanças nos processos de produção, por meio de sensores integrados às conexões digitais, sendo classificada de fábrica inteligente², onde é criado um ambiente virtual, para tomada de decisões.

Na visão de Airbus Company (2020) o IoT é uma inovação tecnológica que coleta informações de sensores no interior da fábrica para rastreamento de peças e ferramentas. Corroborando com essa afirmação, Almeida e Fabro (2019) relatam que, a IoT disponibiliza informações, as quais podem ser apresentadas por gráficos e indicadores analisando a eficiência e as falhas, tudo isso em tempo real, auxiliando a identificação original da falha,

2 Para Borlido (2017, p.40) “uma fábrica inteligente é uma fábrica que trabalha na máxima eficiência enquanto as máquinas inteligentes interligadas entre si colaboram entre elas, com os trabalhadores, com os fornecedores e clientes e com a cadeia analítica e dinâmica criada para se autocontrolar”.

revisões e/ou alteração da periodicidade da manutenção preditiva, se necessário; aumentando também a eficiência operacional, apresentando assim disponibilidade dos equipamentos.

Em 2019, a empresa Embraer realizou o desenvolvimento de um aplicativo para o auxílio da manutenção de aeronaves, uma plataforma *Beacon* projetada para conectar e sincronizar de maneira ágil, os recursos da indústria para manutenção das aeronaves em operação. Esse aplicativo, busca fornecer soluções para as aeronaves que necessitam de manutenções não programadas, por meio de acesso tanto web, como IOS e Android, acionando uma rede de provedores credenciados, promovendo a colaboração em tempo real durante atividades de manutenções não planejadas e acelerando o retorno das aeronaves ao serviço (EMBRAER, 2019).

Essa mesma empresa, faz uso de sensores IoT para rastrear as movimentações das peças dentro da fábrica, facilitando as instalações nos aviões, por meio de GPS (*Global Positioning System*) e “telemetria” que é um sistema híbrido, o qual integra *wi-fi* e outras tecnologias de rede. A partir da instalação dos trens de pouso das aeronaves, a informação chega em tempo real e de forma personalizada com o número e série dos componentes instalados, obtendo mais fluidez na operação. A aplicação do IoT na Embraer está relacionada à robótica, tecnologia essa que facilita a manutenção dos equipamentos, por meio de robôs, os quais operam na montagem das asas dos aviões realizando 100 mil furos para fixar as partes. A empresa desenvolveu uma assinatura digital desses robôs, por meio de sensores que detectam o desempenho do equipamento, de acordo com o esforço que esses realizam os furos, observando se os indicadores de esforço estão fora do padrão. Caso ocorra algum esforço acima do padrão, a parada do equipamento para manutenção, será antecipada. (EMBRAER, 2019).

■ RESULTADOS

Gol Linhas Aéreas Inteligentes

Situada na praça Linneu Gomes S/N, bairro Campo Belo São Paulo, (SP/SP), segundo Veja (2007) a empresa Gol linhas Aéreas Inteligente iniciou suas operações em 15/01/2001 sendo criada pelo Grupo Áurea, maior grupo de transporte rodoviário brasileiro, com a proposta de atuar no mercado doméstico de transporte aéreo com uma nova forma de operação, conceito de *low cost*, *low fare* (baixo custo, baixa tarifa), iniciou com uma frota de seis aeronaves e participação no mercado de apenas 5%. Com a missão de popularizar o transporte aéreo na América do sul, proporcionou voo com preços acessíveis para grande parte da população brasileira.

Conforme Veja (2007) a GOL foi criada para romper paradigmas. A companhia aérea entrou no mercado, em um momento extremamente favorável, em que existia espaço, possibilitando a entrada de um novo modelo de negócios no Brasil, o mercado mundial de aviação passava por uma grande crise, e sem voos lotados, muitas empresas preferiram deixar seus aviões sem decolar. Em meio a esse cenário de baixa demanda, foi que a mesma conseguiu comprar seus primeiros aviões. Além disso, foi de vital importância o apoio do governo, que concedeu espaços em aeroportos de sete capitais brasileiras. Foi justamente nesse contexto, que a empresa emergiu para se tornar um dos maiores fenômenos da história recente do capitalismo brasileiro.

Em 2005, a mesma começou a voar para os países vizinhos passando a conquistar 37% do mercado local. Com o seu crescimento, a empresa adquiriu a Varig por 320 milhões de dólares, empresa essa que detinha o controle de 40% do mercado doméstico e 80% das rotas internacionais quando a GOL começou. (EXAME, 2007).

■ DISCUSSÃO

De acordo com MGM (2020) a GOL detém a responsabilidade primária por garantir a aeronavegabilidade de suas aeronaves, motores e componentes pela realização da confiabilidade da manutenção e alterações em células, motores e componentes, ainda que a manutenção tenha sido realizada por terceiros contratados. As tarefas de planejamento e controle de manutenção são monitoradas, por meio do sistema AMOS (*Aviation Maintenance and Engineering System*), que é uma plataforma *cloud computing*, na qual são registradas todas as informações necessárias. Os parâmetros determinantes para o cumprimento das tarefas de manutenção, diretrizes de aeronavegabilidade e modificações, são calculados utilizando dados operacionais de aeronaves, motores e componentes instalados alimentados no sistema. Tais dados incluem horas, ciclos, datas de instalação e remoção, o sistema devidamente abastecido com essas informações identifica as ações a serem cumpridas e emite a documentação necessária para o cumprimento das tarefas.

Ainda conforme o MGM (2020) o sistema AMOS permite, a qualquer momento manter e acessar as informações referentes à manutenção de aeronaves, garantindo aumento de produtividade e qualidade. Esse sistema de monitoramento interativo é utilizado para acompanhar o *status* dos motores, verificando as tendências gerais do desempenho dos mesmos, permitindo avaliar a disponibilidade desses para operação, detectando alterações anormais e fornecendo assim, informações de longo prazo, as quais auxiliam na confiabilidade da manutenção. Com o uso desse sistema aplicado à manutenção, as decisões visando eliminar as possíveis falhas são baseadas em técnicas de prognósticos aplicadas ao gerenciamento de ativos, técnicas essas que utilizam os pilares da indústria 4.0. Cabe também explicitar que, esse sistema utiliza uma plataforma de acesso para criar e administrar um banco de dados,

o qual é alimentado com informações operacionais enviadas pela tripulação técnica durante o voo, dados esses que são inseridos no sistema semanalmente, pelo setor de Engenharia. Tais dados incluem a rotação dos eixos, fluxo de combustível, temperatura e pressão do óleo, temperatura dos gases de escapamento e condições operacionais do motor.

Por meio dos dados inseridos no sistema AMOS, quando alguma atividade de manutenção é executada, vários setores podem ter acesso às informações acerca do histórico da aeronave, podendo assim, analisar quais tarefas já foram executadas, em qual área foi feito o serviço e quem a executou. As tecnologias embarcadas³ nas aeronaves Boeing 737-800 possibilitam ao setor de manutenção identificar quando ocorre um *Hard Landing* (pouso duro) e também o seu grau de impacto direcionando assim, a realização de uma inspeção em componentes específicos, os quais receberam a maior carga de impacto, registrando o fato ocorrido no sistema. (MGM, 2020)

Para avaliar os processos de manutenção implantados na empresa investigada foi realizada, uma entrevista com o supervisor de manutenção, o qual relatou que, com relação ao processo de manutenção preventiva, a empresa executa uma inspeção sistêmica com intervalos de tempo definidos, visando manter a aeronave em condições de serviço.

Tendo em vista que, as aeronaves necessitam operar com alto índice de confiabilidade, a empresa classifica o setor da manutenção, como uma das suas prioridades, pois, nada é tão negativo, para a imagem de uma empresa aérea, quanto a ocorrência de um acidente. As autoridades aeronáuticas, que regem as normas de aviação no Brasil determinam que as empresas aéreas mantenham suas aeronaves, de acordo com os manuais dos fabricantes, tarefas de manutenção atualizada, item despachados dentro dos limites operacionais. Caso alguma aeronave não esteja dentro dos padrões desejáveis impostos pelos manuais, essa será impedida de voar, até que o problema seja solucionado.

Quando ocorre algum problema na aeronave durante o voo ou em solo, esse é reportado no RTA (*Aircraft Technical Report*) pelo comandante ou copiloto, fato esse que decorre das informações coletadas na cabine de comando, por meio da indicação de alertas luminosos oriundos dos diversos sensores instalados em toda a aeronave. No compartimento de passageiros (*Passenger Compartment*) há o documento denominado por *Flight Attendant Report* (FAR), no qual as ocorrências, erros e danos no interior da aeronave são registrados pelas comissárias de bordo. Todas as informações coletadas são repassadas para o setor de manutenção visando que esse possa tomar as providências antes que a aeronave entre em operação. Dependendo da gravidade do ocorrido é decretado um *Aircraft on Ground* (AOG), no qual a aeronave ficará em solo, até que o problema seja solucionado.

3 Uma tecnologia embarcada (ou embutida) é um sistema microprocessado, no qual o chip é completamente encapsulado ou dedicado ao dispositivo ou sistema que esse controla.

Algumas situações que costumam acontecer na operação de uma aeronave podem ser classificadas como manutenção corretiva, tais como: Troca imediata de equipamentos de emergência para atender passageiros, sensores que às vezes deixam de enviar informações para a cabine, troca de rodas, tanto principal *Main Landing Gear Wheel and Tire*, (roda do trem de pouso principal) e *Nose Landing Gear Wheel and Tire* (roda do trem de Nariz), o qual está instalado na parte frontal da aeronave. A fim de reduzir o impacto dos atrasos das aeronaves, em função dessas ocorrências, a empresa conta com uma equipe qualificada, que é dividida em três turnos.

Destaca-se que os sensores IoT tem enorme importância na operação de uma aeronave Boeing 737-800, pois estão presentes em vários componentes possibilitando assim transmitir informações por meio de interface de outros dispositivos eletrônicos, conforme (BOENG, 2019). No Boeing 737-800 existem vários sensores IoT instalados, dentre esses destacam-se 3 tipos de sensores que contribuem para o sucesso da manutenção 4.0:

- a) Sensores *air/grounds* - exerce um papel relevante na manutenção 4.0 das aeronaves, haja vista que é por meio desse ser possível fazer simulações na aeronave nos sistemas que operam em vôo e outros sistemas que funcionam no solo. Dessa forma, o setor de manutenção pode realizar inspeções nos componentes que operam nessas configurações, possibilitando identificar a real situação dos equipamentos e do sistema. Segundo MGM (2020) por meio de um IPAD integrado a outros dispositivos eletrônicos, o setor executa testes nos componentes analisando in loco, o funcionamento dos sensores garantindo eficiência na operação (BOEING, 2020).
- b) Sensores Thermocouples (sensor de temperatura) - monitoram a temperatura na área quente do motor enviando os dados para módulos eletrônicos, de onde o setor tem acesso visual do funcionamento desses sensores. Por ser uma local que atinge altas temperaturas, faz-se necessário uma atenção especial por parte da manutenção para evitar, que ultrapasse os limites operacionais (BOEING, 2020).
- c) O setor de manutenção utiliza de tecnologia para inspecionar os componentes internos do motor, por meio de boroscópio⁴ conectado a um notebook, instrumento esse que analisa a integridade das peças na área de altas temperaturas. Dessa forma, os dados coletados são enviados para a plataforma integrada com outros sistemas de informações referente a manutenção de aeronave, para que assim seja possível o planejamento das tarefas conforme MGM (2020).

4 Boroscópio é um dispositivo óptico que é composto por uma câmera na ponta de uma sonda, um sistema de controle e monitoramento que permite visualizar e gravar a imagem que a câmera está capturando.

- d) 3) Sensores de pressão de ar - são importantíssimos nas aeronaves, pois por meio desses sensores o setor tem acesso as informações sobre a altitude e velocidade da aeronave. (BOEING, 2020).

Durante a realização de teste nos sensores de pressão, há a necessidade de se utilizar um dispositivo para enviar pressão calibrada para os sensores, simulando que aeronave se encontra em voo, permitindo assim analisar a qualidade dos dados processados pelo software, avaliando também o funcionamento dos sensores. Após a conclusão do teste, por meio de uma IPAD, o setor pode enviar os dados coletados para a plataforma que gerencia os processos de manutenção preventiva, visando monitorar os componentes importantes na operação do Boeing 737-800 (MGM, 2020).

A partir dos dados coletados na pesquisa, observou-se que a empresa investigada, faz uso de algumas tecnologias 4.0 nos seus processos de manutenção corretiva e preventiva aplicado às aeronaves do tipo Boeing 737-800. Entretanto, percebe-se que existem algumas possíveis barreiras, que podem impactar negativamente, no pleno sucesso do processo, conforme segue:

- a) Os profissionais alocados ao processo de manutenção necessitam estar devidamente homologados pelo órgão fiscalizador (ANAC), para executar as atividades nas aeronaves, utilizando-se obrigatoriamente, de manuais atualizados; e,
- b) Já o hangar e suas instalações, ferramentas e sistemas necessitam de certificação para ser utilizado. Segundo MGM, (2020) o planejamento de todas as atividades é feito de acordo com a disponibilidade das aeronaves, todavia, constata-se que a manutenção 4.0 é realizada com extrema segurança vindo que as tecnologias aplicadas passam por fiscalizações da ANAC, antes de sua utilização nas aeronaves.

■ CONCLUSÃO

Esta investigação objetivou, em termos gerais, avaliar o processo de manutenção no segmento aeronáutico e como os sensores IoT auxiliam na tomada de decisão. Portanto, a mesma buscou analisar, particularmente, como essa tecnologia contribui para redução de custos e otimização dos processos. Sendo assim, evidenciou-se a importância dos sensores IoT no retorno do Boeing 737-800 à operação, e com isso, revelou que essa tecnologia representa um papel fundamental no processo de manutenção de aviões, no que se refere à coleta e envio de dados para identificação e resolução de possíveis problemas nas aeronaves.

Dessa forma, com objetivo de avaliar o processo de manutenção 4.0 desenvolvido e executado na empresa investigada, considera-se que o propósito foi alcançado, haja vista

que se observou que a empresa, faz uso de diversas sensores e sistemas IoT em seu processo de manutenção, visando otimizar, tanto o tempo de execução, quanto a redução de custos dos serviços, mantendo assim, a aeronave o mínimo de tempo possível no solo, garantindo seu retorno à operação rapidamente, isso com segurança, qualidade e fazendo uso de pilares da Indústria 4.0.

Já com relação às possíveis barreiras existentes na implantação do processo de manutenção corretiva e preventiva do Boeing 737-800, a pesquisa identificou que as atividades do processo necessitam ser realizadas por profissionais devidamente homologados pelo órgão fiscalizador ANAC, sendo obrigatório o acesso aos manuais do fabricante da aeronave, levando em consideração os fatores:

- a) Tempo de solo da aeronave.
- b) Homens-hora necessários para execução das tarefas.
- c) Mão-de-obra disponível na localidade.
- d) Nível de Homologação da Base compatível com o nível da tarefa.
- e) Disponibilidade de ferramentas e materiais na localidade.

Por fim, a pesquisa evidenciou que a aplicação de tecnologias advindas da Indústria 4.0 tendem a aprimorar o processo da manutenção, gerenciando e controlando o retorno das aeronaves à operação, com rapidez, qualidade e segurança.

■ REFERÊNCIAS

AIRBUS COMPANY (2020). Disponível em: <https://www.airbus.com>. Acesso em 12/04/2022.

AFONSO, I. **Pesquisa inédita da CNI mostra cenário da indústria 4.0 no Brasil**. CNI, 2016. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/inovacao-e-tecnologia/pesquisa-inedita-da-cni-mostra-cenario-da-industria-40-no-brasil/>. Acesso em: 25/04/2022.

ALMEIDA, B.; FABRO, E. Indústria 4.0 como ferramenta na engenharia de manutenção com base na metodologia TPM. **Scientia cum Industria**, v. 7, n. 2, pp. 23-39, 2019.

ANAC (2019) Disponível em: <https://www.anac.gov.br>. Acesso em 26/03/2022.

BAGHERI, B. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. **Manufacturing Letters** 3, 18-23. 2015.

BORLIDO, D. **Indústria 4.0: Aplicação a Sistemas de Manutenção**. 70 f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia Universidade do Porto. 2017.

BOEING (2020) **MyBoeingFleet**. Disponível em: <https://myboeingfleet.boeing.com/toolbox/common/html/index.htm?jsessionid=A080C5DC8F1548119F1E3DDA05AD6E05/> Acesso em: 12/04/2022

CARVALHO, E.; FILHO, N. **Proposta de um sistema de aprendizagem móvel com foco nas características e aplicações práticas da indústria 4.0**. RISTI - Revista Ibérica de Sistemas e Tecnologias de Informação. 2018.

CIVERCHIA, F.; BOCCHINO, S.; SALVADORI, C.; ROSSI, E.; MAGGIANI, L.; PETRACCA, M. Solução industrial de monitoramento da Internet das Coisas para aplicações avançadas de manutenção preditiva. **Journal of Industrial Information Integration**, v.7, p. 4-12, 2017.

DIAS, R. R. de F. **Internet das coisas sem mistérios: uma nova inteligência para os negócios**. São Paulo: Netpress Books, 2016.

EMBRAER (2019). Disponível em: <https://embraer.com/global/en>. Acesso em 30/03/2022.

EXAME. **A mais veloz da história**. Tiago Lethbridge e Melina Costa. Ano 41, nº 06. Abril de 2007. p. 23. 2007.

FERREIRO, S.; KONDE, E.; FERNANDÉZ, S.; PRADO, A. INDUSTRY 4.0: Predictive Intelligent Maintenance for Production Equipment - **Third European Conference of the Prognostics and Health Management Society**, 2016.

GREGÓRIO, E. **Manutenção Aeronáutica preditiva: procedimentos, técnicas e business models**. 72 f. Dissertação (Mestrado em Serviços e Tecnologia) – Instituto Universitário de Lisboa. 2019.

HERMANN, M; PENTEK, T; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review**. Working paper, Technische Universität Dortmund, 2015.

MACHADO, M. C.; URBINA, L. S. Manutenção Aeronáutica no Brasil: distribuição geográfica e técnica. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 22, n. 2, p. 243-253, 2015.

MAGRANI, E. **Internet das Coisas**. Rio de Janeiro: Ed: FGV, 2018.

MGM. **Manual Geral de Manutenção GOL**, 2020.

MOAYED, F. A.; SHELL, R. L. Comparison and evaluation of maintenance operations in lean versus non-lean production systems. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 15(3), 285-296, 2009.

MOON, B. **Internet of Things & Hardware Industry Overview 2016**. SparkLabs Global Ventures, 2016.

OLIVEIRA, F; SIMÕES, W. **A indústria 4.0 e a produção no contexto dos estudantes da engenharia**. Simpósio de Engenharia de Produção, 2016

RAZA, A.; ULANSKY, V. Modelling of predictive maintenance for a periodically inspected system. **Procedia CIRP**, 59, 95-10, 2017.

RIBEIRO, R. P. F. **Controlo de Programa de Manutenção de Aeronaves: Variante, Estruturas e Sistemas**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2009.

SAHAY, A. **Uma visão geral da manutenção de aeronaves. Aproveitando a tecnologia da informação para manutenção, reparo e revisão ideais da aeronave (MRO)**. Cambridge: Woodhead Publicação. 2012.

STADNICKA, D., RATANAYAKE, R. Enhancing Aircraft Maintenance Services: A VSM Based Case Study. **Procedia Engineering**, 182: 665-672, 2017.

TAURION, C. O estágio atual do Big Data no Brasil. **Revista Power Channel**, 20, 5-7. 2013.

TELES, J. **Indústria 4.0: Tudo que você precisa saber sobre a Quarta Revolução Industrial**. 2018. Disponível em < <https://engeteles.com.br/industria-4-0/>> Acesso em 03/04/2022.

TU, P. V. L., YAM, R., TSE, P., SUN, A. O. An integrated maintenance management system for an advanced manufacturing company. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, 17(9), 692-703. 2001.

VIANNA, W.; YONEYAMA, T. Predictive maintenance optimization for aircraft redundant systems subjected to multiple wear profiles. **IEEE Systems Journal**, PP (99), 1-12., 2017.

VILELA, J. A. *et al.* Manutenção em aeronaves: fator contribuinte para a segurança de aviação. **Conexão SIPAER**, v.1, n. 2, mar, 2010.

VEJA (2007) **A Gol e a goleada de Constantino Júnior** Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/blog/reinaldo/veja-5-a-gol-e-a-goleada-de-constantino-junior/>> Acesso em: 03/05/2022

YANG, Z.; YANG, G. Optimization of aircraft maintenance plan based on genetic Algorithm. **International Conference on Medical Physics and Biomedical Engineering**, 33(2012), 580-586. 2012.