

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS EXATAS DA COMPUTAÇÃO
CURSO DE CIÊNCIAS AERONÁUTICAS

A CONTRIBUIÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO GERENCIAMENTO DE VOO

GOIÂNIA
2021

DEIVID LEITE GONÇALVES SILVA

A CONTRIBUIÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO GERENCIAMENTO DE VOO

Artigo Científico apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Aeronáuticas.
Professora Orientadora: Esp. Tammyse Araújo da Silva.

GOIÂNIA
2021

DEIVID LEITE GONÇALVES SILVA

A CONTRIBUIÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO GERENCIAMENTO DE VOO

GOIÂNIA-GO, 07/06/2021.

BANCA EXAMINADORA

Esp. Tammyse Araújo da Silva _____CAER/PUC-GO_____

Assinatura

Nota

Me. Paulo José Gonzaga Ribeiro _____ADM/CAER/PUC-GO_____

Assinatura

Nota

Esp. Andréluiz da Silva Fernandes _____CAER/PUC-GO_____

Assinatura

Nota

A CONTRIBUIÇÃO DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO GERENCIAMENTO DE VOO

ARTIFICIAL INTELLIGENCE CONTRIBUTIONS IN FLIGHT MANAGEMENT

Deivid Leite Gonçalves Silva¹

Tammyse Araújo da Silva²

RESUMO

Diminuir os atrasos dos voos é permitir, entre outros fatores, o crescimento do setor aéreo, pois, com o fluxo de aeronaves escoando, todo o sistema funciona com mais fluidez, permitindo articular o ingresso de novas empresas no setor e de mais usuários do serviço. Entretanto, um dos maiores gargalos para este crescimento decorre dos congestionamentos nas Áreas de Controle Terminal, conhecida pela sigla TMA, do inglês. Considerada esta realidade, este estudo objetiva identificar o uso de Inteligência Artificial para reduzir tais congestionamentos na medida em que pode atuar nas aeronaves, em procedimentos das empresas aéreas e no controle de tráfego aéreo. Para alcançar tal objetivo, adotou-se uma metodologia descritiva, com abordagem qualitativa, de procedimentos documental e bibliográfico. Assim, a partir do material pesquisado, comprovou-se que sistemas de Inteligência Artificial como o *Garmin Autoland*, *ATTOL* e *MyFuelCoach*, possibilitam ao piloto gerenciar tanto o voo, quanto o que dele depende, como o consumo de combustível. Na dimensão das companhias aéreas, sistemas inteligentes são utilizados principalmente na manutenção aeronáutica com a finalidade de antever e prevenir falhas antes que elas ocorram, evitando, desta forma, atrasos; são exemplos desses sistemas o *software Prognos* e a plataforma *Skywise*. Quanto ao uso de Inteligência Artificial para o gerenciamento do tráfego aéreo, constatou-se que a Organização da Aviação Civil Internacional criou o Plano de Navegação Aérea Global, que utiliza a Navegação Baseada em Performance, além de um sistema de alto nível chamado Modelador Total do Espaço Aéreo e Aeroportos. Tais programas oferecem sistemas inteligentes para resolver problemas de congestionamento. Cabe ressaltar que o Brasil adota esses dois sistemas, como também implantou o SIRIUS para reduzir o uso de medidas restritivas, como a espera. Desse modo, confirma-se a hipótese de que Inteligência Artificial pode minimizar os problemas relativos ao gerenciamento do voo nos aspectos relacionados ao piloto, à companhia aérea e ao tráfego aéreo; entretanto, o campo ainda é fértil e demanda um *Big Data* que seja capaz de absorver todas as informações do setor para que sejam tratadas em sistemas inteligentes. Diante do exposto, sugere-se para estudos futuros o aprofundamento acerca da evolução de um sistema de geração e compartilhamento de dados para melhorar, ainda mais, o *Big Data* e propiciar a evolução da Inteligência Artificial que é dependente de dados e tem seu desempenho melhorado na medida que é alimentada com novas informações.

Palavras-chaves: Gerenciamento de voo; Tráfego aéreo; Inteligência Artificial; Tomada de decisão; Aprendizado da Máquina.

ABSTRACT

Decreasing flight delays is to allow, among other factors, the growth of the airline sector, as with the aircraft flow going better, the entire system works more fluidly, allowing the entry of new companies in the sector and increasing its service users. However, one of the biggest

¹ Graduando em Ciências Aeronáuticas, Piloto Privado. Endereço eletrônico: deivid_gsilva@hotmail.com.

² Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Graduanda em Ciências Aeronáuticas pela UnisulVirtual. Professora da Ciências Exatas e da Computação no curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. EC-PREV pelo CENIPA. Credenciada no SGSO pela ANAC. Endereço eletrônico: tammyse@hotmail.com/tammyse@pucgoias.edu.br.

bottlenecks for this growth stems from congestion in the Terminal Control Areas, known by the acronym TMA. Considering this reality, this study aims to identify the Artificial Intelligence use to reduce such congestion to the extent that it can act on aircraft, airline procedures and air traffic control. To achieve this goal, a descriptive methodology with a qualitative approach was adopted, as well a documentary and bibliographic procedures. Thus, based on the researched material, it was proven that Artificial Intelligence systems such as Garmin Autoland, ATTOL and MyFuelCoach, allow the pilot to manage both the flight and what relies on it, such as fuel consumption. In the airlines' field, intelligent systems are used mainly in aeronautical maintenance with the purpose of anticipating and preventing failures, thus avoiding delays; examples of these systems are the Prognos software and the Skywise platform. As for the use of Artificial Intelligence for air traffic management, it was found that the International Civil Aviation Organization created the Global Air Navigation Plan, which uses Performance Based Navigation, in addition to a high-level system called Total Airspace and Airport Modeler. These programs offer intelligent systems for solving congestion problems. It should be noted that in Brazil those two systems are adopted, as well as the SIRIUS implementing to reduce restrictive measures usage, such as waiting. Thus, the hypothesis that Artificial Intelligence can minimize the flight management problems in aspects related to the pilot, the airline and air traffic is confirmed; however, the field is still fertile and demands a Big Data capable of absorbing all industry information so that it can be treated in intelligent systems. Given the above, it is suggested for future studies to deepen into the evolution of a data generation and sharing systems that can further improve the Big Data and provide the evolution of Artificial Intelligence that is dependent on it and has its performance improved when fed with new information.

Keywords: *Flight management; Air traffic; Artificial intelligence; Decision making; Machine learning.*

INTRODUÇÃO

A evolução na tecnologia aeronáutica permitiu aeronaves mais modernas, rápidas, eficientes e seguras e, com isso, a confiança no transporte aumentou, fazendo com que muitas pessoas passassem a utilizá-lo. O expressivo crescimento na quantidade de voos também aumentou a complexibilidade no gerenciamento de tráfego aéreo e ocorrências de congestionamento no fluxo foram se instaurando, acompanhadas, muitas vezes, de variáveis que podem influenciar o aproveitamento de uma decisão acurada.

Diante do cenário atual, tendo em vista a tendência de expansão do mercado aéreo, o estudo tem por objetivo verificar a adoção de Inteligência Artificial (IA) em sistemas que auxiliem pilotos, controladores, mecânicos e empresas aéreas a tomarem melhores decisões para diminuir o impacto do desbalanceamento de tráfego aéreo ao voo.

A pesquisa do tema se mostra relevante, já que, embora o Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA), órgão pertencente ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), esteja trabalhando ativamente na gestão do tráfego e imponha medidas restritivas, o

gargalo de tráfego aéreo ainda tem sido um entrave para o modal aeroviário. À medida que a quantidade de voos cresce, a gestão de *cockpit*, assim como o gerenciamento de fluxo de tráfego aéreo, tornam-se ainda mais desafiadores.

Como objetivo secundários, procura-se verificar quais são os fatores operacionais diretamente ligados à operação do voo que podem acabar impactando em atrasos, bem como buscar entender se o uso da Inteligência Artificial pode influenciar positivamente os custos das operações.

Com vistas ao alcance dos objetivos, a pesquisa utiliza uma metodologia descritiva, de abordagem qualitativa, adotando procedimentos que busquem em bibliografia e documentos o alicerce para a construção desse conhecimento. Assim, diversos autores nacionais e internacionais subsidiaram o estudo, tais como Barreto, Fay e Oliveira, Gu, Zhang e Li, assim como importantes organismos da aviação, a exemplo da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), da Airbus e do DECEA.

O artigo foi estruturado em três seções: Inteligência Artificial e a aviação: aplicabilidade; o sistema de aviação e sua eficiência a partir do uso de IA; e as considerações finais. A primeira parte aborda os conceitos de Inteligência Artificial e busca demonstrar, de forma abrangente, a aplicação dessa tecnologia em diversas áreas, inclusive na aviação. A segunda seção, demonstra algumas dificuldades encontradas no sistema aéreo, bem como os benefícios oriundos da aplicação de IA que diminuem estas dificuldades. Por fim, as considerações finais são apresentadas.

Espera-se, com a pesquisa, demonstrar que a Inteligência Artificial está sendo utilizada no setor aéreo e que seu uso tem proporcionado melhorias, sobretudo no que se refere ao gerenciamento do voo, considerando todas os aspectos que dele decorre: aeronaves (*cockpit*, sistemas e manutenção), tráfego aéreo e empresa aérea.

A partir desta pesquisa será possível ter a dimensão holística acerca dos possíveis benefícios gerados pelo maior uso da Inteligência Artificial na área operacional das corporações, de forma a torná-las ainda mais céleres e eficientes, podendo, assim, ofertar um serviço de melhor qualidade aos passageiros.

1 INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A AVIAÇÃO: APLICABILIDADE

Segundo Lemes (2018), o termo Inteligência Artificial (IA) foi criado no ano de 1956, após a publicação do artigo *Computing Machinery and Intelligency*, de Alan Turing. De acordo com o autor, a IA proposta por Turing foi pensada para desenvolver computadores inteligentes

capazes de ver, ouvir, andar, falar e sentir, de modo que se assemelhassem ao raciocínio humano, aprendessem e solucionassem problemas.

No entendimento de Gomes (2010), a IA, apesar de ser uma das ciências mais recentes, está presente em diversos campos de conhecimento e sua tecnologia é capaz de desenvolver desde tarefas consideradas simples até as mais complexas, tais como executar uma partida em um jogo de xadrez ou auxiliar em um diagnóstico de uma doença.

Petteri (2018) percebe a IA como a capacidade dos computadores de desempenharem atividades que normalmente exigem uma inteligência humana, ou seja, é a capacidade das máquinas de aprender com os dados que lhe são fornecidos, processar essas informações e tomar uma decisão, tal como o ser humano. O autor destaca, dentre as vantagens das máquinas sobre o homem, o fato de elas não precisarem de descanso, ter a capacidade de processar grandes volumes de dados em menos tempo e cometer menos erros no exercício de suas tarefas.

Quanto à classificação da Inteligência Artificial, duas são as subdivisões: *machine learning* (aprendizado de máquina) e *deep learning* (aprendizado profundo). Em *machine learning*, a aprendizagem da máquina se dá a partir da avaliação e categorização dos dados que lhe são apresentados, então a IA reconhecerá os padrões pré-programados, conseguindo tomar decisões com base nas conclusões geradas. O diferencial dessa tecnologia é que o algoritmo consegue aprender e evoluir por si próprio. Esse aprendizado passa pela fase de detecção, processamento (algoritmos organizam esses dados), saída de dados (em formato de padrões ou de tendências) e, por fim, geração de um valor para executar uma tarefa ou uma tomada de decisão (AIRES; ALMEIDA; SILVEIRA, 2019).

Já o *deep learning*, de acordo com Damaceno e Vasconcelos (2018), é um tipo de *machine learning* em que a máquina é capaz de desempenhar tarefas mais complexas, tais como reconhecimento de fala, identificação de imagens e elaborações de previsões. Os autores consideram que ao estabelecer parâmetros dos dados, o *deep learning* reconhece padrões e treina a máquina para aprender sozinha. Esse processo de aprendizado é uma imitação do aprendizado intuitivo humano, o qual faz uso de dados de experiências passadas para realizar uma tarefa. Desta forma, o processo será cada vez mais aprimorado em razão dos dados gerados pelas próprias experiências de tarefas anteriores. Neste sentido, Barreto (2002) acrescenta que aprender é a ação que gera um comportamento diferente do que estava sendo praticado; essa alteração é, portanto, decorrente de informações recebidas do passado.

A Udacity (2014) percebe a Inteligência Artificial como simulação de uma inteligência semelhante à humana, processada pela máquina, que já faz parte de uma indústria crescente de muitas possibilidades em diversos segmentos da sociedade. Petteri (2018) acredita que o uso da

IA mudará a forma de fazer negócios e que a adoção dessa ferramenta traz vantagens competitivas para quem decide empregar tal tecnologia em suas atividades.

A respeito dessa diversidade de uso, o aplicativo (*app*) *Waze* é um exemplo. O *Waze* é uma ferramenta de IA popular de trânsito que funciona *online*, utilizando-se de dados de localização de seus usuários com o intuito de otimizar as informações coletadas, direcionando-os para rotas menos congestionadas. Em termos de gestão, essa ferramenta tem apresentado bons resultados. Em Joinville, Santa Catarina, a prefeitura adotou um sistema baseado nos dados coletados do *Waze* para o gerenciamento do trânsito em um ponto específico da cidade e, em decorrência desta implantação, o município calculou um ganho de R\$ 1.08 bilhões em produtividade propiciados pela reversão dos prejuízos advindos de congestionamentos naquele trecho (DI BERNARDI, 2019).

Por certo, o trânsito tem um alto índice de acidentes e o desenvolvimento de um sistema de apoio ao motorista pode contribuir de forma significativa na redução de sinistros. Visando um aumento da segurança, a indústria automotiva vem desenvolvendo veículos autônomos, isto é, que podem operar de forma automatizada e sem intervenção humana. Com esse tipo de tecnologia, é possível atribuir tarefas ao veículo, tais como manter separação segura do veículo da frente, permanecer dentro da faixa de sinalização da via e até frear na proximidade de um obstáculo. Em razão da sua tecnologia, esse tipo de autonomia automotiva é resultado de IA (JUNG et al., 2014).

A Inteligência Artificial, no entanto, pode ir além de contribuir com sistemas autônomos para mitigar riscos automotivos. Silva, V. (2020) afirma que a Inteligência Artificial na aviação tem como foco principal a segurança de voo, além de trazer atributos que simplificam o trabalho dos colaboradores, como o de assumir funções cansativas e estressantes e reduzir a carga de trabalho dos pilotos, possibilitando-lhe maior dedicação ao gerenciamento de voo e às tomadas de decisões.

Para Silva, D. (2021), a AI pode colaborar com o gerenciamento do voo e tomada de decisão. Neste sentido, Gomes (2019) aponta no estudo de caso do voo Gol 1907, que um dos contribuintes para a colisão entre a aeronave B737 da empresa aérea Gol e o EBM-135J *Legacy*, ocorrida em 2006, deve-se ao fato de os pilotos do jato terem desligado inadvertidamente o *Traffic Collision Avoidance System* (TCAS). O autor ressalta que se o sistema tivesse uma proteção com alerta de que foi desligado em pleno voo, possivelmente o acidente não teria ocorrido.

Outro potencial uso de IA para o gerenciamento é o que abrange o tráfego de informações. Como exemplo, há os *chatbot*, tecnologia geralmente disposta em *sites* com intuito de interagir com usuários em uma linguagem conversacional natural, trazendo soluções, como sanar dúvidas de clientes. Sem essa tecnologia, provavelmente, a empresa necessitaria de um atendimento humano especializado e, devido à alta demanda, a fila de espera poderia ser, aprender e se desenvolver de uma forma natural; e outro baseado em regras, simples e limitado, sem capacidade de compreender a intenção da interação do usuário.

Segundo Silva, R. (2020), a Gol, no intuito de melhorar a experiência de seus clientes, desenvolveu um *chatbot* denominado Gal. Trata-se de uma assistente virtual dotada de Inteligência Artificial, alocada em seu *site*, com a capacidade de desenvolver inúmeras tarefas, como fornecer informações aos clientes, sanar dúvidas relacionadas ao voo, entre outras. A Gol materializou a assistente virtual, criando um robô físico que fica baseado em Guarulhos. O robô também leva o nome de Gal e é capaz de interagir com o público por meio de voz, podendo fornecer soluções mais rápidas ao usuário.

Outra inovação que tem potencial para demonstrar como a IA pode elevar o desenvolvimento no meio aéreo é o sistema *Garmin Autoland*. Essa tecnologia implantada na aeronave possibilita a qualquer passageiro, em caso de incapacidade do piloto, fazer com que o avião pouse sozinho e em segurança. Para isso, o passageiro precisa ser instruído a acionar um botão específico, localizado no *cockpit*, que, ao ser acionado, faz com que todo o sistema de voo seja gerenciado por uma IA. Desse modo, a Inteligência Artificial irá fazer a comunicação com o órgão de Controle de Tráfego Aéreo (ATC)³ responsável e, por meio das informações contidas no banco de dados, o sistema viabiliza a melhor pista para pouso, utilizando parâmetros como distância, autonomia restante da aeronave, dimensões da pista e outras variáveis que podem influenciar na escolha do aeroporto mais adequado para o pouso automático (GARMIN, 2020).

A indústria aeronáutica é um dos setores que mais se beneficia da IA. A Airbus (2020), por exemplo, desenvolveu um sistema conhecido como *ATTOL*⁴. Segundo a empresa, essa tecnologia foi pensada para reduzir a carga de trabalho sobre os pilotos nas operações, com intuito de direcionar o foco para tomadas de decisões estratégicas e gerenciamento das missões, de modo a elevar a segurança do voo. O sistema passou por mais de 500 voos de testes e o projeto foi concluído com êxito, conseguindo pousar sem auxílio de qualquer equipamento em solo.

³ *Air Traffic Control*.

⁴ *Autonomous Taxi, Take-Off and Landing*, ou em português, Táxi, Decolagem e Pouso Autônomo.

Um dos motivos para o desenvolvimento do *ATTOL* foi o fato de os pilotos automáticos não responderem satisfatoriamente a imprevistos, enquanto o sistema autônomo, dotado de IA baseada em aprendizado da máquina, consegue responder bem nos casos de eventualidades, já que tem capacidade de aprender e se utilizar da geração de variáveis para gerir a situação da melhor forma. A Airbus entende que o desenvolvimento de mais automação nas aeronaves faz parte do processo de evolução natural da indústria aeronáutica (AIRBUS, 2020).

Os aeroportos também utilizam IA em seus ambientes, a exemplo do tapete azul. Trata-se de um sistema que agiliza o embarque dos usuários com o auxílio de uma Realidade Aumentada (AR)⁵. Por meio de projeções no chão do terminal criados pela AR, o sistema organiza, direciona e ordena os passageiros de forma estratégica, conseguindo reduzir o tempo de embarque e ainda promove o afastamento das pessoas na fila, o que reduz o risco de contaminação biológica em cenários de pandemia ou de epidemia viral (FERRARO JUNIOR, 2020).

Além de atuar na organização do embarque, esse sistema também opera na prioridade dos passageiros. Assim, seu *software* organiza o sequenciamento dos usuários para adentrarem na aeronave, de forma a selecionar inicialmente os prioritários, em seguida os vips, em sequência os dos programas de fidelidade e, finalmente, os demais. O sistema também organiza a entrada de forma que os passageiros mantenham o distanciamento, assim como os direciona para ocuparem os assentos da janela e, só depois, os do corredor; desta forma, evita-se o “sentalevanta” dos usuários (ARBEX, 2020).

No entendimento de Couto (2019), automatizações permitem a redução do uso de áreas físicas no terminal aeroportuário. No aeroporto de Galeão, por exemplo, a Gol implantou um sistema autônomo que permite aos passageiros realizarem despacho de suas bagagens com o autoatendimento. A tendência é que as tecnologias estejam cada vez mais presentes em aeroportos, como a biometria, AR e *Internet* das Coisas (IoT)⁶. De uma forma bem simplificada, Santos et al. (2016) entendem a IoT como a capacidade de um objeto estar conectado à rede de *internet*, transmitir e receber dados, comunicar com outros objetos, reagir a eventos virtuais e físicos, ser monitorados e receber comandos por meio da *internet*.

Santos (2016) aponta que a IoT pode gerar expressivo volume de dados e que a coleta e análise dessa gama de informações se tornou um desafio. Segundo Izzo (2019), existe um volumoso banco de dados, conhecido como *Big Data*, que é alimentado por diversas fontes como AI, computação em nuvem, *sites* e IoT. O autor conclui que, embora as informações

⁵ *Augmented Reality*.

⁶ *Internet of Things*.

geradas possibilitem diversas vantagens competitivas, a separação e o tratamento desses dados ainda estão em evolução. Neste sentido, Santos e Freitas (2016) consideram que o próximo passo para a evolução humana está ligado à junção dessas tecnologias pela possibilidade de geração de novos conhecimentos adquiridos por meio das máquinas.

2 O SISTEMA DE AVIAÇÃO E A SUA EFICIÊNCIA A PARTIR DO USO DE IA

Na perspectiva de Santos e Silva (2019), a aviação esteve associada aos avanços tecnológicos desde sua criação, porém, de início, o foco da tecnologia estava mais na área da aerodinâmica e, só durante e após a Segunda Guerra Mundial, a indústria aeronáutica evoluiu de forma acentuada. Fay e Oliveira (2011) consideram que nos primeiros 20 anos da aviação no Brasil existiam certas dificuldades. Por exemplo, no sistema de navegação aérea, as informações nas cartas eram limitadas, havia poucos instrumentos a bordo das aeronaves e grande parte do interior brasileiro não tinha estradas que pudessem auxiliar na orientação do voo. Com o tempo, aeronaves automatizadas foram sendo desenvolvidas e adotadas pelo mundo e, apesar da resistência inicial dos pilotos, essas novas tecnologias contribuíram para o desenvolvimento do setor aéreo, complementam as autoras.

À vista disso, a inovação tecnológica se mostra necessária para atender às demandas do mercado, buscando por mais segurança, economia de tempo e redução de custos. De início, para resolver imprevistos durante o voo, foi necessário melhorar o treinamento de pilotos para que estes adquirissem o domínio manual da máquina pautados nos ensinamentos de pilotos mais experientes. Com o progresso tecnológico e a adoção de aeronaves modernas, ao domínio manual foi somado o gerenciamento do voo. Isto desencadeou uma revolução na maneira de conduzir as aeronaves e as vastas habilidades para domínios manuais deixaram de ser primordiais para uma pilotagem segura: esta função passou a ser desempenhada por computadores (FAY; OLIVEIRA, 2011).

Embora a tecnologia tenha trazido avanços no setor aéreo, percebe-se que ainda há muito espaço para o desenvolvimento nesse meio. Na visão de Ribeiro e William (2008), a quantidade e o fluxo intenso de aeronaves em Área de Controle Terminal (TMA) representa um gargalo à malha aérea brasileira. A fim de reduzir os efeitos desse congestionamento, as medidas empregadas pelos órgãos de gerenciamento e controle de tráfego aéreo incluem manter a aeronave em espera no solo, restringir a velocidade daquelas que chegam e determinar o procedimento de espera em órbita (atitude de voar em círculo ao redor de ponto de referência). No entanto, um obstáculo na execução dessas medidas restritivas, sobretudo a espera, é a

distribuição dos voos de maneira justa e igualitária, cuja demora no pouso acarreta transtorno aos passageiros e dispêndios às empresas com o gasto de combustível (ARRUDA JÚNIOR et al., 2010).

Outro contribuinte de atraso de voo é a manutenção não programada. Para Narcizo (2016), as manutenções realizadas em aeronaves podem ser preventivas (cujo objetivo é o de reduzir a probabilidade de falha, substituindo peças antes do término da sua vida útil) ou corretivas (empregada quando há conhecimento de um defeito ou avaria de algum componente da aeronave). De acordo com Gu, Zhang e Li (2015), uma manutenção bem planejada evita problemas técnicos e atrasos que impactariam diretamente na percepção dos clientes.

Sobre a manutenção não programada, Fontes et al. (2013) entendem que ela decorre de uma falha ou defeito do equipamento, em um momento não planejado, geralmente ocasionando mais custos e transtornos para a operação. Portanto, uns dos motivos que mais levam a atrasos de voo são problemas de manutenção da aeronave, sobretudo se ela não estiver prevista e não for realizada em tempo hábil, além de elevar os custos com cancelamentos e atrasos dos voos.

Segundo Oliveira (2020), qualquer lacuna na pontualidade dos voos desencadeia uma série de prejuízos relativos às programações dos passageiros, aos custos arcados pelas empresas aéreas em termos de taxas aeroportuárias e às despesas com tripulações, além de que todo o sistema dependente do voo pode ser impactado. De acordo com Cella et al. (2020), quando houver ocorrência de cancelamentos ou atrasos de voo, as empresas aéreas serão tarifadas, independentemente da existência de culpa.

Além dos gastos mencionados, Ferreira (2018) considera a má administração do espaço aéreo outro elemento que eleva os custos das operações, além das oscilações no preço do combustível (contratado em dólar), das mudanças nas regulamentações, dos aspectos da infraestrutura (aeroportos congestionados) e do aumento de peso desnecessário ao voo que, por vezes, é praticado para evitar abastecer nas conexões, por receio de intercorrer em atrasos.

A respeito do combustível, Szenczuk (2019) acrescenta que esse item em 2017 representou 27,5% dos custos operacionais das empresas aéreas brasileiras e que, para reduzi-los, as companhias otimizam as operações, adotam rotas mais curtas e altitudes mais adequadas e investem em tecnologias. Neste sentido, de acordo com Kajibata (2012), a tecnologia é um valioso direcionador estrutural de custos, os quais representam elementos estratégicos primários da organização. Em muitas corporações, a tecnologia é a ferramenta para reduzir o custo de pessoal, aumentar a escala de produção ou melhorar qualidade do produto. No caso das aeronaves, é possível obter ganho econômico com a fabricação de projetos mais eficientes.

Soulié (2019) considera que a aviação tem muito espaço para aplicação da Inteligência Artificial, pois, a área acumula um significativo banco de dados que podem ser esmiuçados por *softwares* capazes de analisar assuntos complexos, volumosos e repetitivos. Por outro lado, o fato de a AI ser dependente de dados para conseguir desempenhos significativos demanda um sistema mundial de comunicação e fornecimento de dados, mas isto ainda faz parte de uma realidade distante. Diante dessa conjuntura, é recomendado o desenvolvimento de uma infraestrutura voltada à obtenção e transmissão de conhecimento e a coletas de dados com riqueza de detalhes.

Por certo, a aplicação da Inteligência Artificial na gestão e manutenção aeronáutica será cada vez mais presente, mas, desde já, tem-se mostrado eficiente, trazendo redução de custos com recursos humanos, de insumos e de tempo na manutenção preventiva em empresas com grandes frotas de aeronaves, promovendo, assim, um baixo índice em atraso de decolagem (SILVA, R., 2020).

Nesse sentido, segundo Santos (2019), a *Air France Industries-KLM Engineering & Maintenance* noticiou o *Prognos*, um *software* alimentado por dados provenientes dos sistemas das aeronaves que, por meio de algoritmos de IA, consegue prever falhas, trazendo benefícios ao operador e evitando problemas como um incidente operacional ou um atraso na partida do voo. O autor afirma que com essa tecnologia a manutenção das aeronaves deixa de ser somente preventiva e torna-se também preditiva. Para Santana (2015), a manutenção preditiva serve, como o termo sugere, para antever falhas ou avarias por meio da execução de um monitoramento regular de peças e sistemas em condições reais de funcionamento do equipamento. De acordo com Izzo (2019), a utilização desses dados fornecidos pela IA não apenas promove benefícios para as empresas que operam as aeronaves ao propiciar tais manutenções preditivas, como também possibilita a melhoria na linha de produção das fabricantes.

A Airbus, de sua feita, desenvolveu a *Skywise*, uma plataforma elaborada para análise e previsão de falhas, disponível também a outras empresas que também abastecerão a base de dados com o uso da nuvem, tornando o sistema mais eficiente por concentrar diversas informações e possibilitar a articulação com inúmeras variáveis (IZZU, 2019). A EasyJet, empresa aérea britânica, adotou essa plataforma para reduzir atrasos decorrentes de manutenções não previstas, de modo a transformar a gestão e operação das aeronaves. Com três anos de teste, a plataforma conquistou ganhos significativos no desempenho operacional com a aplicação da manutenção preditiva (SANTOS, 2019).

Arruda Júnior et al. (2010) afirmam que o congestionamento de aeronaves dentro da Área de Controle Terminal (TMA) também pode ser minimizado com o avanço tecnológico. Neste sentido, Szenczuk (2020) explica que a Organização Internacional de Aviação Civil (OACI) criou um Plano de Navegação Aérea Global (GANP)⁷ com a finalidade de acelerar o avanço tecnológico quanto à navegação aérea e ao Gerenciamento do Fluxo de Tráfego Aéreo (ATFM)⁸, com expectativa de conseguir a implantação em todo o mundo até o ano de 2031. O autor acrescenta que no Brasil existe o programa SIRIUS para colaborar com o desenvolvimento do Gerenciamento de Tráfego Aéreo (ATM).

Para a Agência Nacional de Aviação Civil (2017), o GANP, instituído com um planejamento de implantação flexível, irá viabilizar a integração da aviação por meio da modernização e a da promoção da Navegação Baseada em Performance (PBN)⁹. Segundo a ANAC (2021), PBN é um sistema que combina a navegação por satélite e equipamentos em solo e a bordo da aeronave, com o objetivo de atender aos requisitos de performance em todas as fases do voo.

O SIRIUS, outro programa tecnológico utilizado para o desenvolvimento do Sistema de Gerenciamento de Tráfego Aéreo no Brasil, prevê um sistema de ATFM para diminuir o uso de medidas restritivas, como retardar a decolagem de uma aeronave, atitude que, apesar de contribuir com a fluidez do tráfego, acaba desfavorecendo a agenda da aeronave restringida. O ATFM é uma subdivisão do Centro de Gerenciamento da Navegação Aérea (CGNA), que, além das funções mencionadas, promove a gestão operacional de ações estratégicas de planejamento, fazendo ajustes para o equilíbrio entre a oferta e demanda dos voos (DECEA, 2020).

Com a demanda crescente por voos, certamente o gerenciamento de tráfego ficou mais complexo, alavancando o desenvolvimento de tecnologias para auxiliar na tomada de decisão dos controladores. Tais ferramentas tecnológicas precisam ser capazes de dispor de informações precisas e de simular medidas táticas que permitam a tomada de decisão eficaz. O Modelador Total de Espaço Aéreo e Aeroportos (TAAM)¹⁰ é um dos modelos considerados de alto nível, adotado em larga escala pelo mundo, inclusive no Brasil. Este sistema foi concebido pela *The Preston Group* em colaboração com a *Australian Civil Aviation Authority* (CAA) e é capaz de detectar e resolver conflitos a partir de *input* de dados do ambiente a ser analisado, como planos de voo, tráfegos planejados, regras e restrições (RODRIGUES, 2018; MOSER,

⁷ *Global Air Navigation Plan.*

⁸ *Air Traffic Flow Management.*

⁹ *Performance Based Navigation.*

¹⁰ *Total Airspace and Airport Modeler.*

2007). O TAAM cria um cenário que simulada operações, de modo a permitir a visualização e análise de seus resultados (FAB, 2011).

Consequentemente, e considerando que o gerenciamento de tráfego se torna tarefa cada vez mais complexa, tecnologias baseadas em algoritmos genéticos se revelam uma valiosa ferramenta ao viabilizar uma análise com inúmeras variáveis e resposta rápida, aumentando sua performance. Neste cenário de decisões a curto prazo, suscetíveis à falha humana, e de certa pressão sobre os controladores, sobre os quais recaem as consequências e as responsabilidades das decisões, o sistema ideal que garante a segurança é aquele que combina os seres humanos e máquinas (RODRIGUES, 2018).

Outro sistema, fruto da parceria entre a *OpenAirlines* (s.d.) e a *SkyBreathe* – denominado de *MyFuelCoach* – foi desenvolvido com o objetivo de reduzir o consumo de combustível provocado, em especial, pelo procedimento de espera, como já mencionado. Ao utilizá-lo, o piloto consegue gerenciar a autonomia do combustível de modo mais eficiente por meio de dados gerados por *software*. O sistema é capaz de identificar na rota o ponto ideal de descida e o perfil ideal de subida, indicando a melhor configuração para atingir o máximo desempenho em economia. O piloto tem acesso exclusivo ao sistema, podendo tanto planejar seus próximos voos e identificar o potencial de economia quanto acompanhar os resultados e progresso dos seus voos (OPENAIRLINES, 2021).

A importância do gerenciamento de combustível pode ser ainda destacada pela atuação da companhia aérea *Citilink*, considerada a segunda empresa mais pontual da Ásia e com o melhor *ranking* em pontualidade da Indonésia. Para a *Citilink*, foi desenvolvido um plano de eficiência para reduzir custos com combustíveis, com apoio terrestre e aéreo. Neste plano, por meio do *Big Data* e utilizando-se de dados meteorológicos, de tarifas de combustível, de nível de tráfego, entre outros, são realizados alguns cálculos para oferecer os melhores níveis de voo. De posse dos dados, o responsável pelo setor da empresa comunica-se com o controle para obter rotas diretas, ao mesmo tempo em que oferece informações que contribuem para a redução de tráfego (RACHMAN, 2019).

Segundo Feray (2021), tradicionalmente as aeronaves voam em aerovias balizadas por auxílios no solo e, por isso, nem sempre as rotas fluem em linha reta. Com a entrada de novas tecnologias, como a Navegação de Área (RNAV)¹¹, os pilotos podem escolher caminhos mais flexíveis; no entanto, o modelo tradicional de aerovia, ainda que imperfeito, está mantido na maior parte do espaço aéreo, pois possibilita maior controle na separação das aeronaves em

¹¹ *Area Navigation*.

rota. Para o autor, a autorização direta (DCT) significa que ao invés de voar sobre o ponto A, B, C e D, com devida autorização de mudança de plano, o piloto voa de A diretamente para C, economizando distância. Mas esse tipo de autorização geralmente somente é concedido pelo controlador de voo se ele tiver uma ampla visão dos tráfegos nessa região.

Alguns pilotos experientes, que atuam em rotas conhecidas, provavelmente sabem o local onde a solicitação DCT é atendida, entretanto, os menos experientes perdem essa oportunidade em razão de seu desconhecimento. Nesse sentido, uma ferramenta chamada *SkyBreathe OnBoard* mapeia o histórico de outros voos e consegue calcular a probabilidade de o piloto conseguir tal autorização. Seu *software*, ao fazer os cálculos, levará em consideração as condições reais do voo, como dados meteorológicos, por exemplo. Para não sobrecarregar o piloto de informações, o *app* só irá notificá-lo no momento ideal para fazer a solicitação (CÉCILE, 2021).

Segundo Andrésson (2016), o planejamento estratégico colabora com o bom gerenciamento do voo, mas decisões táticas são tomadas pelos despachantes e pilotos. Assim, o ideal é o fornecimento de informações que possam colaborar com a tomada de decisão, como horários de taxi, meteorologia e estatística do tempo de rota. Neste sentido, a IA, presente em diversas ferramentas e sistemas, promove esta compilação de dados, ao tempo em que contribui para a visão mais ampla do cenário no qual piloto e controladores estão envolvidos.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa se propôs a analisar a introdução de tecnologias mais inteligentes para auxiliar os pilotos no gerenciamento de voo e contribuir com a fluidez das operações aéreas, em especial com a diminuição de atrasos dos voos, a partir da Inteligência Artificial. Foi entendido que IA é um termo mais abrangente de uma tecnologia que pode ter capacidade limitada (*machine learning*) ou ser capaz de entender e pensar de forma autônoma para resolver problemas (*deep learning*). Foi o *machine learning* que propiciou o desenvolvimento do *deep learning*, aprendizado ainda mais avançado e que faz análises preditivas e detecta padrões com base em dados colhidos anteriormente, ou seja, um sistema que consegue aprender de uma forma semelhante à humana.

Desse modo, a utilização de tecnologias *machine learning* ou *deep learning* em sistemas de aeronaves, manutenção ou tráfego aéreo reforça a hipótese de que a IA esteja sendo adotada para o gerenciamento do voo, diminuindo atrasos e elevando a segurança das operações, visto

que o maior gargalo para o escoamento do fluxo de tráfego aéreo reside no seu congestionamento, sendo necessário encontrar maneiras de reduzi-lo.

A respeito do gerenciamento do voo e da segurança, verificou-se o emprego de sistemas autônomos nas aeronaves como, por exemplo, o *Garmin Autoland*, que permite ao passageiro pousar com segurança em casos de incapacidade do piloto, e o *ATTOL*, desenvolvido pela Airbus para que o avião seja autossuficiente no pouso. Além das aeronaves, empresas aéreas também fazem uso de IA, como a *Citilink*, que optou por introduzir um sistema para o gerenciamento de combustível com o objetivo reduzir os custos. Nesta linha, empresas como a *Openairlines* oferecem ferramentas tecnológicas, a exemplo do *MyFuelCoach*, que oferta ao piloto perfis ideais de subida e o ponto ideal para iniciar a descida visando aumentar o desempenho na redução de consumo de combustível. Na área de manutenção, a IA também é aplicada por meio do *software Prognos* (da *Air France Industries-KLM Engineering & Maintenance*) e da plataforma *Skywise* (da Airbus), que conseguem prever falhas e diminuir problemas de atraso.

No que pertine ao tráfego aéreo e ao escoamento de seu fluxo, constatou-se que está em processo de implementação o GANP, criado pela ICAO, com a finalidade de acelerar o avanço tecnológico neste setor, utilizando, por exemplo, a PBN, a qual o Brasil já adota. Também em escala mundial, com emprego inclusive no Brasil, o sistema de alto nível TAAM é capaz de detectar, resolver conflitos e simular operações, o que melhora o poder de decisão dos controladores. Em âmbito nacional, o Sistema de Gerenciamento de Tráfego Aéreo implantou o programa SIRIUS para diminuir o uso de medidas restritivas – como a de retardar a decolagem de uma aeronave, atitude que, apesar de contribuir com a fluidez do tráfego, acaba desfavorecendo a agenda da aeronave restringida.

Apesar da confirmação de que a IA já esteja sendo adotada para o gerenciamento do voo, seu potencial de crescimento é visível, pois ainda há gargalos no tráfego aéreo. Desse modo, é necessária uma rede mundial de dados que alimente o sistema, formando um *Big Data* de informações sobre setor aéreo. Em vista disso, recomenda-se o aprofundamento de estudos voltados para a análise de integração de dados em prol do desenvolvimento do meio aéreo em geral.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. (ANAC). **ANACpédia**: Navegação baseada em performance. 2021. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_ing/tr3359.htm. Acesso em: 29 abr. 2021.

_____. **ANACpédia: Tomada de decisão.** Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_ing/tr3500.htm. Acesso em: 19 abr. 2021.

_____. **Plano de Atuação Internacional 2017/2.** 2017. Disponível em: https://www.anac.gov.br/A_Anac/internacional/publicacoes/plano-de-atuacao-internacional-1/c-plano-de-atuacao-internacional-2017/02.pdf. Acesso em: 29 abr. 2021.

AIRBUS. **Airbus concludes ATTOL with fully autonomous flight tests.** Jun. 2020. Disponível em: <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/06/airbus-concludes-attol-with-fully-autonomous-flight-tests.html>. Acesso em: 29 abr. 2021.

_____. **Is autonomy the future of aerial mobility?** Jan. 2020. Disponível em: <https://www.airbus.com/newsroom/stories/autonomy-aerial-mobility.html>. Acesso em: 15 abr. 2021.

AIRES, C. S. F.; ALMEIDA, G. de J., A.; SILVEIRA, S. O. Inteligência Artificial na Gestão de Estoque. *In: FATELOG. Logística 4.0 do conhecimento.* 2019. Guarulhos. Disponível em: <https://fateclog.com.br/anais/2019/INTELIG%20c3%8aNCIA%20ARTIFICIAL%20NA%20GEST%20c3%83O%20DE%20ESTOQUE.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2021.

ANDRÉSSON, E. I. Case study: Icelandair fuel savings. Aircraft IT operations. **Aircraft IT MRO eJournal.** Poynings, v. 5, n. 4, set./out. 2016. Disponível em: <https://www.aircraftit.com/articles/icelandair-fuel-savings/>. Acesso em: 08 mai. 2021.

ARBEX, G. Azul lança tapete virtual para agilizar embarques. **Revista Forbes,** 16 mar. 2020. Disponível em: <https://forbes.com.br/colunas/2020/03/exclusivo-azul-lanca-tapete-virtual-para-agilizar-embarques/>. Acesso em: 4 mar. 2021.

ARRUDA JÚNIOR, A. C. de. et al. Análise de impacto no controle de fluxo de tráfego aéreo. *In: Simpósio de Transporte Aéreo da SBTA.* At: Manaus. Volume: **Anais do IX SITRAER.** São José dos Campos: SBTA, 2010. Disponível em: <https://cabecadepapel.com/sites/ixsitraer2010/documentos/anais/tr37.pdf>. Acesso em: 26 abr. 2021.

BARRETO, J. M. **Introdução às redes neurais artificiais.** 2002. Laboratório de Conexionismo e Ciências Cognitivas, Departamento de Informática e de Estatística. Florianópolis. Disponível em: <http://www.inf.ufsc.br/~j.barreto/tutoriais/Survey.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2021.

CAMPELLO, M. de O. **Automação de voo.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Aeronáuticas) – Curso de Ciências Aeronáuticas, Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/5383/Automa%20c3%a7%20c3%a3o%20de%20Voo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 abr. 2021.

CÉCILE. Fly shorter with directs: an effective way to improve fuel efficiency. *In: Blog da Openairlines,* 28 abr. 2021. Disponível em: <https://blog.openairlines.com/fly-shorter-with-directs-an-effective-way-to-improve-fuel-efficiency>. Acesso em: 8 de mai. 2021.

COUTO, S. L. S. **O turismo e as novas tecnologias no transporte aéreo: avaliação dos especialistas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. Disponível em: <https://pantheon.ufrj.br/bitstream/11422/13748/1/StphanieLouiseSouzaDoCouto.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2021.

DAMACENO, S. S.; VASCONCELOS, R. O. Inteligência artificial: uma breve abordagem sobre seu conceito real e o conhecimento popular. **Caderno de Graduação – Ciências Exatas e Tecnológicas** – Aracaju, v. 5, n. 1, p. 11, 2018. Disponível em: <https://periodicos.set.edu.br/cadernoeexatas/article/view/5729/2966>. Acesso em: 11 abr. 2021.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (DECEA). **Assegura o balanceamento entre a capacidade de atendimento do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro e a demanda dos movimentos aéreos do país**. 2021. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/?i=unidades&p=cgna>. Acesso em: 29 abr. 2021.

DIBERNARDI, S. C. **A inteligência artificial em auxílio à resolução de conflitos de trânsito no Brasil**: o uso de novas tecnologias para aumento da eficiência judicial e extrajudicial. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Direito) – Centro de Ciências Jurídicas, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/203279/TCC%20Sahra%20BU-mesclado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 21 mar. 2021

FAY, C. M.; OLIVEIRA, G. G. **Aviação, tecnologia e sociedade**: os primeiros voos no Brasil. 2011. Disponível em: https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/8303/2/Aviacao_tecnologia_e_sociedade_os_primeiros_voos_no_Brasil.pdf. Acesso em: 26 abr. 2021.

FERAY, A. Decarbonizing aviation: mission possible – Episode 10: ATM improvements. *In: Blog Openairlines*, Jan. 2021. Disponível em: <https://blog.openairlines.com/decarbonizing-aviation-mission-possible-episode-10-atm-improvements>. Acesso em: 8 mai. 2021.

FERRARO JUNIOR. Azul lança o tapete azul, sistema de embarque rápido. **Azul Revista Digital**. 29 mai. 2020. Universo Azul. Disponível em: <https://revistaazul.voeazul.com.br/universo-azul/tapete-azul/>. Acesso em: 4 mar. 2021.

FERREIRA, L. S. **Comparação entre companhias aéreas brasileiras**: eficiência na utilização do combustível. 2018. Monografia (Bacharelado em Economia) – Faculdade de Economia e Administração, Instituto de Ensino e Pesquisa, São Paulo. Disponível em: http://dspace.insper.edu.br/xmlui/bitstream/handle/11224/2108/LUCIANA%20SABINO%20FERREIRA%20_TCCII.pdf?sequence=1. Acesso em: 5 abr. 2021.

FONTES, C. O.; ALVES, J. F.; TEIXEIRA, C. E. **Minimização de resíduos em um processo de manutenção de aeronaves**: abordagens seis sigma, lean manufacturing e produção mais limpa. mai. 2013. São Paulo. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/fourth/files/sessoes/6A/5/fontes_co_et_al_work.pdf. Acesso em: 05 abr. 2021.

FORÇA AÉREA BRASILEIRA (FAB). **Como será o gerenciamento do tráfego no futuro (CNS/ATM)**. 2011. Disponível em: <https://www.fab.mil.br/noticias/mostra/8541/>. Acesso em: 29 abr. 2021.

GARMIN. **Autonomi™ Autonomous Safety Enhancing Technologies**. Disponível em: <https://discover.garmin.com/en-US/autonomi/>. Acesso em: 4 mar. 2021.

GOMES, D. dos S. Inteligência Artificial: Conceitos e Aplicações. **Revista Olhar Científico** – Faculdades Associadas de Ariquemes – v. 01, n. 2, ago./dez. 2010, p. 234-235. Disponível em: http://www.professores.uff.br/screspo/wp-content/uploads/sites/127/2017/09/ia_intro.pdf. Acesso em: 12 mar. 2021.

GOMES, J. B. **Segurança de voo: tecnologia na operação da aviação civil**. 2019. Monografia (Graduação em Ciências Aeronáuticas) – Universidade do Sul de Santa Catarina, Palhoça. Disponível em: <https://www.riuni.unisul.br/bitstream/handle/12345/7726/TCC%20vers%c3%a3o%20final%20%28Ci%c3%aancias%20Aeron%c3%a1uticas%29.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 13 abr. 2021.

GU, J.; ZHANG, G.; LI, K. W. Efficient aircraft spare parts inventory management under demand uncertainty. *In: Journal of Air Transport Management*, v. 42, p. 101-109, 2015. Disponível em: <https://scholar.uwindsor.ca/cgi/viewcontent.cgi?article=1098&context=odettepub>. Acesso em: 4 abr. 2021.

_____. **ICA 63-39: Gerenciamento do programa DECEA Eurocontrol (PDE)**. 2020. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/api/storage/uploads/files/c2771b2e-261d-415b-89bb2adab1bc77c3.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2021.

IZZO, F. Management Transition to Big Data Analytics: Exploratory Study on Airline Industry. *In: Canadian Center of Science and Education*, v. 12, n. 10, p. 48, Capua, 2019. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/efc0/a7e3545e5acdaabbd07631b150cf2da19e2.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2021.

JUNG, C. R. et al. Computação embarcada: projeto e implementação de veículos autônomos inteligentes. *In: Congresso da Sociedade Brasileira de Computação*, 2014, São Leopoldo. **A Universalidade da Computação: um agente de inovação e conhecimento**, São Leopoldo, s.d. p. 1358-1406. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/242092725_Computacao_Embarcada_Projeto_e_Implementacao_de_Veiculos_Autonomos_Inteligentes. Acesso em: 13 abr. 2021.

KAJIBATA, O. T. **Análise de estratégias e dos fatores externos na gestão estratégica de custos das companhias aéreas brasileiras**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18157/tde-24042013-144352/publico/OrlandoTadaoKajibataDEFINITIVO.pdf>. Acesso em: 5 abr. 2021.

LEMES, G. B. Introdução a inteligência artificial. *In: [s. l.]: Joinville: Clube de autores*, 2019. Disponível em: <https://pt.scribd.com/book/421379061/Introducao-A-Inteligencia-Artificial>. Acesso em: 20 mar. 2021.

LUGLI, V. A.; LUCCA FILHO, J. de. O uso do chatbot para a excelência em atendimento. **Interface Tecnológica**, Taquaritinga, v. 17, n. 1, p. 205-218, São Paulo. 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/840/462>. Acesso em: 13 abr. 2021.

MOSER, R. F. **Simulação e análise de configurações aeroportuárias utilizando visual SIMMOD**: aplicação ao aeroporto internacional de São Paulo/Guarulhos. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3138/tde-23072007-224707/publico/RodrigoMoser.pdf>. Acesso em: 28 abr. 2021.

NARCIZO, R. R. **Custos de manutenção de aeronave e o efeito da comunalidade de frota**. 2016. Dissertação (Mestrado Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) – Área de Transporte Aéreo e Aeroportos. Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos. Disponível em: https://www.academia.edu/28012736/2o_Semin%C3%A1rio_de_Tese. Acesso em: 5 abr. 2021.

OLIVEIRA, I. G. de. **Atrasos de voo**: otimização do programa de manutenção da Tap Air Portugal. 2020. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial) – Departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra. Disponível em: https://eg.uc.pt/bitstream/10316/94002/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_In%C3%AAs_de_Oliveira.pdf. Acesso em: 5 abr. 2021.

OPENAIRLINES. **Save fuel, save money, save the planet! MyFuelCoach**: the better you engage pilots, the more efficient your fuel-saving plan will be. 2021. Disponível em: <https://www.openairlines.com/pilot-engagement-app/>. Acesso em: 6 mai. 2021.

PETTERI, L. R. **Inteligência artificial**: 101 cosas que debes saber hoy sobre nuestro futuro. Barcelona: ALIENTA EDITORIAL, 2018.

RACHMAN, A. Driving fuel efficiency at Citilink. *In: Magazine Aircraft IT Operations*. V8.2, may-jun. 2019. Big data gives Citilink better performance: flight operations and fuel efficiency improved. P.28-33. Disponível em: https://issuu.com/aircraftit/docs/aircraft_it_ops_v8.2_360af9a904d482. Acesso em: 07 mai. 2021.

REBECCHI, A. de B. **Robô humano**: estudo sobre humanização no atendimento com chatbot. 2020. Dissertação (Mestrado em Comportamento do Consumidor) – Escola Superior de Propaganda e Marketing, Programa de Mestrado Profissional em Comportamento do Consumidor, São Paulo. Disponível em: <https://tede2.espm.br/bitstream/tede/506/2/Adriana%20de%20Barros%20Rebecchi.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2021.

RIBEIRO, V. F.; WILLIAM, R. de J. **Previsão de Cenário para o Controle de Tráfego Aéreo do CINDACTA I**. 2008. Monografia (Bacharelado em Ciência da Computação) – Instituto de Ciências Exatas, Departamento de Ciência da Computação, Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/242556527_Previsao_de_Cenario_para_o_Controle_de_Trafego_Aereo_do_CINDACTA_I. Acesso em: 4 abr. 2021.

RODRIGUES, N. de S. **Abordagem em algoritmos genéticos para otimização da alocação de slots no programa de opções de trajetórias colaborativo**. 2018. Dissertação (Mestrado em Informática) – Universidade de Brasília, Brasília. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/33246/1/2018_NatandeSouzaRodrigues.pdf. Acesso em :28 abr. 2021.

SANTANA, C. W. **A importância de se implementar uma manutenção preditiva no motor PT6B-37A do helicóptero AW119 MKII do CBMGO**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gerenciamento de Segurança Pública) – Universidade Estadual de Goiás, Goiânia. Disponível em: <https://pt.scribd.com/document/308599910/Artigo-Cientifico-Manutencao-Preditiva-em-Helicoptero>. Acesso em: 11 abr. 2021.

SANTOS, D. de O.; FREITAS, E. B. de. A Internet das Coisas e o Big Data inovando os negócios. 2016. **Revista Fatec**, v. 3, n. 1. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5744978.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2021.

SANTOS, E. F. G. dos.; SANTOS, E. F. G. **Manutenção aeronáutica preditiva: procedimentos, técnicas e business models**. Dissertação (Mestrado em Serviços e da Tecnologia) – Instituto Universitário de Lisboa, Lisboa. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10071/19019>. out. 2019. Acesso em: 11 abr. 2021.

SANTOS, B. P. et al. **Internet das coisas: da teoria à prática**. 2016. Departamento de Ciência da Computação, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. Disponível em: <https://homepages.dcc.ufmg.br/~mmvieira/cc/papers/internet-das-coisas.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2021.

SANTOS, P. M. P. **Internet das coisas: o desafio da privacidade**. 2016. Dissertação (Mestrado em Sistemas de informação Organizacionais) – Escola Superior de Ciências Empresariais, Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal. Disponível em: <https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/17545/1/Disserta%20Pedro%20Santos%20140313004%20MSIO.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2021.

SANTOS, P. V. S.; SILVA, E. C. da. Panorama da Aviação Civil no Brasil: uma análise. *In: Brazilian Journal of Production Engineering – BJPE*, São Mateus, v. 5, n. 1, p. 122–142, 2019. DOI: 10.0001/V05N01_07. Disponível em: https://periodicos.ufes.br/bjpe/article/view/V05N01_07/pdf. Acesso em: 22 mar. 2021.

SILVA, D. G. da. **Aspectos positivos do uso da inteligência artificial / machine learning na gestão e planejamento da manutenção aeronáutica**. 2021. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/aspectos-positivos-do-uso-da-intelig%C3%A2ncia-learning-na-daniel-marques>. Acesso em: 13 abr. 2021.

SILVA, R. J. **Batendo um papo com a informação: o uso dos chatbots para a recuperação da informação e a contribuição da Ciência da informação nesse processo**. 2020. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciências da Comunicação) – Escola de Comunicações e Artes, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em:

<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/27/27163/tde-10032021-013140/publico/RafaelJoadaSilvaVC.pdf>. Acesso em: 13 abr. 2021.

SILVA, V. F. P. da. **Inteligência Artificial aplicada nas operações aéreas**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Ciências Aeronáuticas) – Escola de Gestão e Negócios, Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC/GO). Goiânia. Disponível em: https://repositorio.pucgoias.edu.br/jspui/bitstream/123456789/550/1/2020-12-03-VICTOR%20PIRES%20-%20TCC%20II%20CAER_2020-Final.pdf. Acesso em: 13 abr. 2021.

SOULIÉ, F. F. Key priorities and timescales for artificial intelligence: to help improve aviation performance. *In: Revista Skyway*, out. Inv. 202. p. 34-35, 2019. Disponível em: <https://www.eurocontrol.int/sites/default/files/2019-11/skyway-magazine-autumn-winter-2019.pdf>. Acesso em: 11 abr. 2021.

SZENCZUK, J. B. T. **Análise do potencial de redução no consumo de combustível de empresas aéreas por meio de melhorias no gerenciamento de tráfego aéreo**. 2020. Dissertação (Mestrado Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), São José dos Campos/SP. Disponível em: <https://scholar.google.com/scholar?oi=bibs&cluster=7211281545321360097&btnI=1&hl=pt-BR>. Acesso em: 29 abr. 2021.

UDACITY. **What is Artificial Intelligence?** 2014. Disponível em: <https://www.udacity.com/what-is-artificial-intelligence>. Acesso em: 16 mar. 2021.

TORATI, C. **Análise de confiabilidade na manutenção aeronáutica de componente**. 2016. 60 f. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba/PR. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/18675/1/CT_CEECSP_2015_02.pdf. Acesso em: 5 abr. 2021.

TORRES, V. S.; BERGAMINI, W. T.; CELLA, D. Análise dos principais custos operacionais das companhias aéreas como estratégia para viabilizar uma empresa low cost no Brasil. **Revista Interface Tecnológica**, Catanduva, v. 17, n. 2, p. 437-450, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/937/554>. Acesso em: 5 abr. 2021.