

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS

ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES

GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AERONÁUTICAS



**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE
PILOTOS EM SIMULADORES DE VOO**

VITOR FERREIRA DE MENDONÇA

GOIÂNIA

2026

VITOR FERREIRA DE MENDONÇA

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE
PILOTOS EM SIMULADORES DE VOO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola
Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica
de Goiás, como parte dos requisitos para obtenção do
título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Orientador:

Prof.^a Esp. Roberto Marcio

Examinador:

Prof. Me. Paulo José Gonzaga Ribeiro

Prof. Me. Andre Luiz da Silva Fernandes

VITOR FERREIRA DE MENDONÇA

**INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE
PILOTOS EM SIMULADORES DE VOO**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado em sua forma final pela Escola Politécnica e de Artes, da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, para a obtenção do título de Bacharel em Ciências Aeronáuticas, em _____.

Orientador: Prof. Roberto Marcio

Prof. Me. Paulo José Gonzaga Ribeiro

Prof. Me. Andre Luiz da Silva Fernandes

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL E A AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE PILOTOS EM SIMULADORES DE VOO

Vitor Ferreira de Mendonça, Roberto Marcio

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, Vitortim62@gmail.com

Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, Goiás, Brasil, rob.marcio@hotmail.com

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo analisar de forma crítica a utilização da Inteligência Artificial (IA) como ferramenta de apoio à avaliação de desempenho de pilotos em treinamentos realizados em simuladores de voo. A motivação para o desenvolvimento desta pesquisa está relacionada às limitações observadas nos métodos tradicionais de avaliação, fundamentados predominantemente na observação humana, os quais podem apresentar subjetividade, dificuldades de padronização e limitações na análise de grandes volumes de dados gerados durante as sessões de simulação.

Nesse contexto, busca-se compreender de que maneira a Inteligência Artificial pode contribuir para tornar os processos avaliativos mais precisos, ágeis, padronizados e confiáveis, sem desconsiderar a importância do instrutor humano no acompanhamento do treinamento aeronáutico. A pesquisa possui abordagem qualitativa, desenvolvida por meio de revisão bibliográfica e análise de experiências práticas relacionadas ao uso de sistemas inteligentes na indústria da aviação.

O estudo apresenta uma contextualização histórica da evolução dos simuladores de voo e dos métodos de avaliação utilizados na formação de pilotos, além de discutir aplicações atuais da Inteligência Artificial no setor aeronáutico. Também são analisados exemplos de implementação da IA em centros de treinamento, destacando benefícios como a redução da subjetividade, geração de feedback em tempo real, identificação de padrões de desempenho e aprimoramento da segurança operacional.

Ao final, conclui-se que a Inteligência Artificial possui elevado potencial para transformar positivamente os processos de formação e avaliação de pilotos, desde que sua aplicação ocorra de forma ética, responsável e integrada ao conhecimento técnico dos profissionais da aviação.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; avaliação de desempenho de pilotos; simuladores de voo; treinamento aeronáutico; segurança operacional.

ABSTRACT

This Final Course Work aims to critically analyze the use of Artificial Intelligence (AI) as a supporting tool for evaluating pilot performance during flight simulator training. The motivation for this research is related to the limitations observed in traditional evaluation methods, which are predominantly based on human observation and may present subjectivity, difficulties in standardization, and limitations in handling the large volume of data generated during simulation sessions.

In this context, the study seeks to understand how Artificial Intelligence can contribute to making evaluation processes more precise, agile, standardized, and reliable, without disregarding the importance of the human instructor in monitoring aeronautical training. The research adopts a qualitative approach, developed through bibliographic review and analysis of practical experiences related to the use of intelligent systems in the aviation industry.

The study presents a historical contextualization of the evolution of flight simulators and evaluation methods used in pilot training, in addition to discussing current applications of Artificial Intelligence in the aeronautical sector. Examples of AI implementation in training centers are also analyzed, highlighting benefits such as reduced subjectivity, real-time feedback generation, identification of performance patterns, and improvement of operational safety.

Finally, it is concluded that Artificial Intelligence has great potential to positively transform pilot training and evaluation processes, provided that its application occurs ethically, responsibly, and in integration with the technical knowledge of aviation professionals.

Keywords: Artificial Intelligence. Pilot Performance Evaluation. Flight Simulators. Aeronautical Training. Operational Safety.

1 Introdução

A formação de pilotos na aviação civil representa uma das etapas mais complexas e exigentes do setor aeronáutico, uma vez que envolve o desenvolvimento de competências técnicas, operacionais e comportamentais essenciais para a segurança de voo. Nesse contexto, os simuladores de voo tornaram-se ferramentas indispensáveis ao treinamento aeronáutico ao longo das últimas décadas, permitindo a reprodução de cenários operacionais, condições meteorológicas adversas e situações de emergência em ambientes controlados e seguros.

Apesar dos avanços tecnológicos observados nos sistemas de simulação, os métodos de avaliação de desempenho utilizados durante os treinamentos ainda apresentam desafios relacionados à padronização, objetividade e precisão das análises realizadas pelos instrutores. Tradicionalmente, o processo avaliativo depende da observação humana e da interpretação individual dos avaliadores, o que pode resultar em diferenças de julgamento e limitações na análise de grandes volumes de dados gerados durante as sessões de treinamento.

Nesse cenário, a Inteligência Artificial (IA) surge como uma alternativa promissora para auxiliar os processos de avaliação em simuladores de voo. A aplicação dessa tecnologia possibilita a coleta e análise automatizada de dados relacionados ao desempenho dos pilotos, permitindo identificar padrões de comportamento, tempos de resposta, precisão na execução de procedimentos e aderência aos protocolos operacionais. Além disso, os sistemas baseados em IA são capazes de fornecer feedback em tempo real e gerar relatórios mais detalhados e objetivos, contribuindo para avaliações mais consistentes e eficientes.

Dessa forma, observa-se uma transformação gradual no modelo tradicional de avaliação de desempenho na aviação, marcada pela integração entre a experiência dos instrutores e as capacidades analíticas proporcionadas pelas tecnologias inteligentes. Essa integração tem potencial para promover maior confiabilidade nos processos de treinamento, além de contribuir para o aprimoramento contínuo da segurança operacional.

O presente trabalho tem como objetivo investigar de que maneira a Inteligência Artificial pode ser utilizada como ferramenta de apoio à avaliação de desempenho de pilotos em simuladores de voo, buscando compreender seus benefícios, limitações e implicações éticas no contexto da aviação civil contemporânea. Para isso, foram estabelecidos como objetivos específicos: contextualizar a evolução dos métodos de avaliação no treinamento de pilotos; apresentar os fundamentos da Inteligência Artificial e suas aplicações na aviação; analisar exemplos práticos de utilização da IA em simuladores de voo; e discutir os desafios éticos e operacionais relacionados à implementação dessas tecnologias.

A metodologia adotada possui natureza qualitativa, com ênfase na pesquisa bibliográfica e exploratória. Foram utilizados artigos científicos, publicações técnicas de órgãos reguladores, como ANAC e ICAO, além de estudos de caso relacionados ao uso de Inteligência Artificial em programas de treinamento aeronáutico.

A relevância desta pesquisa está associada ao avanço tecnológico observado na aviação e à crescente necessidade de desenvolvimento de métodos avaliativos mais precisos, padronizados e baseados em dados. Além disso, trata-se de um tema ainda pouco explorado no meio acadêmico nacional, especialmente no contexto da formação de pilotos, o que reforça a importância do estudo para o desenvolvimento científico e para a modernização dos processos de ensino e avaliação na aviação civil.

2 A EVOLUÇÃO DO TREINAMENTO E AVALIAÇÃO DE PILOTOS EM SIMULADORES DE VOO

Desde os primórdios da aviação, a formação de pilotos tem passado por transformações significativas, acompanhando o desenvolvimento tecnológico do setor. Inicialmente, o treinamento era realizado predominantemente em aeronaves reais, o que implicava elevados custos operacionais e riscos inerentes à atividade. Com o avanço das tecnologias mecânicas e, posteriormente, eletrônicas, surgiram os primeiros dispositivos de simulação de voo, destacando-se o Link Trainer, desenvolvido por Edwin Albert Link na década de 1930. Esse equipamento representou um marco na história da aviação, sendo amplamente utilizado no treinamento de pilotos militares durante a Segunda Guerra Mundial, contribuindo

significativamente para a redução de custos e aumento da segurança operacional (SALAS; BOWERS; RHODENIZER, 1998; LINTERN, 1991).

Ao longo das décadas seguintes, os simuladores evoluíram em realismo, precisão e complexidade. Na aviação comercial, a partir da década de 1970, o uso de simuladores foi consolidado como etapa obrigatória na formação e reciclagem de pilotos, com exigências específicas das autoridades aeronáuticas. Atualmente, simuladores de última geração reproduzem com fidelidade total os sistemas de voo, condições meteorológicas, falhas técnicas e emergências, tornando-se ambientes de aprendizado altamente controlados e seguros.

Porém, os métodos de avaliação mantiveram-se majoritariamente dependentes do julgamento subjetivo dos instrutores. Com base em checklists e observações diretas, os avaliadores atribuem notas ao desempenho dos pilotos. Embora eficaz em muitos casos, esse processo apresenta limitações: pode haver divergências entre avaliadores, falta de critérios objetivos e dificuldade de registrar comportamentos sutis ou tendências repetitivas.

A busca por melhorias nesse processo motivou o surgimento de sistemas de gravação, dashboards de desempenho e relatórios pós voo. No entanto, mesmo com esses avanços, os dados gerados raramente são processados de forma automática ou integrados em uma análise sistêmica. É nesse contexto que a Inteligência Artificial começa a ser considerada como uma aliada estratégica, capaz de analisar grandes volumes de dados, identificar padrões e apoiar decisões com base em evidências concretas.

A compreensão da trajetória histórica da formação e avaliação de pilotos é essencial para reconhecer os desafios que ainda persistem e para propor soluções fundamentadas. Ao aliar tradição e inovação, a aviação tem a oportunidade de evoluir para um modelo educacional mais eficaz, seguro e alinhado às exigências da sociedade contemporânea.

3 A INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NA AVALIAÇÃO DE PILOTOS: APLICAÇÕES ATUAIS

A Inteligência Artificial tem assumido papel cada vez mais relevante na indústria, especialmente no setor da aviação. No contexto da formação de pilotos, essa tecnologia vem sendo progressivamente incorporada aos simuladores de voo e programas de instrução, com o objetivo de tornar o processo de avaliação mais eficiente, preciso e confiável (RUSSELL; NORVIG, 2021; GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016).

Quando aplicada a simuladores, a inteligência artificial possibilita a coleta e análise de grandes volumes de dados gerados durante os treinamentos. Esses dados incluem variáveis como tempo de reação, execução de procedimentos, estabilidade no controle da aeronave, aderência a protocolos operacionais e comportamento em situações de risco. Por meio de técnicas de Machine Learning, torna-se possível identificar padrões de desempenho e prever falhas recorrentes, fornecendo feedback imediato e relatórios detalhados tanto para instrutores quanto para alunos (BISHOP, 2006; GERON, 2019).

Empresas como Airbus, Boeing e CAE Inc. já incorporam sistemas inteligentes em simuladores de última geração. Tais sistemas são capazes de registrar detalhadamente as ações dos pilotos e compará-las com padrões de excelência previamente estabelecidos, contribuindo para a construção de trilhas de aprendizagem individualizadas e mais eficazes (SALAS et al., 2012).

No contexto brasileiro, centros de treinamento homologados pela Agência Nacional de Aviação Civil têm iniciado a implementação de sistemas assistidos por inteligência artificial para avaliação de critérios objetivos de desempenho. Embora ainda em estágio inicial, essa prática reflete uma tendência global de digitalização e automação dos processos de ensino na aviação (ICAO, 2013).

Adicionalmente, ferramentas baseadas em inteligência artificial podem auxiliar na detecção de sinais fisiológicos e comportamentais, como variações vocais, indicadores de fadiga e respostas psicofisiológicas, aspectos considerados fundamentais para a análise do estado operacional do piloto (HART; STAVELAND, 1988; CAA, 2016).

Dessa forma, a aplicação da inteligência artificial na avaliação de desempenho de pilotos representa um avanço significativo no campo da instrução aeronáutica. Essa abordagem promove maior padronização dos processos avaliativos, reduz a subjetividade inerente às avaliações tradicionais e permite o acompanhamento contínuo da evolução do aluno, contribuindo diretamente para o aumento da segurança e da eficiência operacional (ENDSLEY, 1995; SALAS; ROSEN; DIAZGRANADOS, 2010).

Nesse contexto, a avaliação de pilotos, especialmente em ambientes de simulação de voo, evoluiu de métodos predominantemente subjetivos e baseados em observação para abordagens orientadas por dados. O uso da inteligência artificial possibilita análises mais precisas, identificação de padrões comportamentais e fornecimento de feedback personalizado em tempo real, resultando em uma formação mais eficaz, segura e adaptativa.

3.1 CASO REAL DE IMPLEMENTAÇÃO DE IA NO TREINAMENTO DE PILOTOS NA LUFTHANSA AVIATION

A Lufthansa Aviation Training (LAT), centro de formação de pilotos pertencente ao grupo Lufthansa, destaca-se como uma das instituições pioneiras na aplicação de Inteligência Artificial em ambientes de simulação de voo. O desenvolvimento do sistema ocorreu em parceria com empresas especializadas em tecnologia aeronáutica, como a CAE Inc. e a Ascent Flight Training, com o objetivo de digitalizar o processo de avaliação e integrá-lo aos dados gerados em tempo real por simuladores do tipo Full Flight Simulator (FFS) (ICAO, 2013; EASA, 2019).

O objetivo central da iniciativa consistiu na padronização dos critérios de avaliação, na redução da subjetividade das análises realizadas por instrutores e na geração de feedbacks mais

precisos e consistentes. A utilização de sistemas baseados em Machine Learning possibilitou a automatização da análise de desempenho, contribuindo para maior confiabilidade nos processos avaliativos (GERON, 2019; BISHOP, 2006).

Durante as sessões de simulação, múltiplas variáveis são monitoradas em tempo real, incluindo comandos de controle da aeronave, configurações de sistemas, parâmetros de voo, respostas a falhas simuladas e aspectos relacionados ao Crew Resource Management (CRM). Esses dados são capturados automaticamente pelos sistemas do simulador e enviados para plataformas de análise, nas quais são processados e comparados com padrões de desempenho previamente estabelecidos com base nas diretrizes da European Union Aviation Safety Agency e da International Civil Aviation Organization (ICAO, 2013).

Por meio da aplicação de técnicas de aprendizado supervisionado e não supervisionado, os sistemas de inteligência artificial são capazes de identificar padrões recorrentes de erro, avaliar a consistência do desempenho ao longo de diferentes sessões de treinamento, sugerir melhorias específicas e até prever o desempenho futuro dos pilotos em etapas subsequentes da formação (GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016).

Ao final de cada sessão, são gerados relatórios automatizados que incluem análises gráficas do desempenho, comparações com médias de grupo e acompanhamento individual da evolução do aluno. Além disso, o sistema emite alertas automáticos para comportamentos críticos, como instabilidade em aproximações, atrasos em respostas a emergências e falhas na aplicação de procedimentos operacionais padrão (SOP), reforçando a segurança operacional (SALAS; ROSEN; DIAZGRANADOS, 2010).

Após um período de implementação, estudos e relatórios técnicos indicam ganhos operacionais relevantes, como a redução do tempo de elaboração de relatórios, aumento da precisão na identificação de deficiências técnicas, maior uniformidade nas avaliações e melhoria no desempenho geral dos alunos. Tais resultados evidenciam o potencial da inteligência artificial como ferramenta de apoio à instrução aeronáutica baseada em dados (ICAO, 2013).

Entretanto, a implementação dessa tecnologia também apresenta desafios, como a resistência inicial por parte de instrutores, a necessidade de calibragem adequada dos algoritmos, questões relacionadas à privacidade dos dados e a capacitação das equipes para interpretação correta dos relatórios gerados. Apesar disso, a integração entre avaliação automatizada e acompanhamento humano tem promovido um modelo híbrido altamente eficiente, centrado em dados e no aprimoramento contínuo dos pilotos.

O sucesso dessa abordagem consolidou a LAT como referência internacional na aplicação de inteligência artificial na formação aeronáutica, sendo frequentemente citada em eventos como o European Airline Training Symposium e em relatórios técnicos da International Civil Aviation Organization sobre o futuro do treinamento baseado em competências (CBTA) (ICAO, 2013; EASA, 2019).

4 ESTRUTURA DO SISTEMA DE IA

A coleta de dados em simuladores de voo ocorre de forma automatizada por meio de sensores e sistemas integrados, capazes de registrar variáveis críticas como posição da aeronave, utilização dos comandos, tempo de resposta a falhas e aspectos relacionados à comunicação entre os tripulantes. Esses dados são posteriormente processados por técnicas de Machine Learning, nas quais algoritmos analisam o desempenho dos pilotos e o comparam com benchmarks operacionais e históricos individuais, permitindo uma avaliação mais precisa e orientada por dados (BISHOP, 2006; GERON, 2019).

Com base nesse processamento, são gerados sistemas de feedback automatizado, que produzem relatórios inteligentes contendo indicações de pontos de melhoria, evolução ao longo do treinamento e projeções de desempenho futuro. Esse tipo de abordagem contribui significativamente para a personalização do ensino e para o aprimoramento contínuo das competências dos pilotos (GOODFELLOW; BENGIO; COURVILLE, 2016; SALAS; ROSEN; DIAZGRANADOS, 2010).

Estudos e relatórios técnicos indicam que, após períodos de implementação de aproximadamente 12 meses, a adoção dessas tecnologias pode resultar em melhorias relevantes no desempenho médio dos alunos, redução no tempo de elaboração de relatórios e aumento da satisfação dos instrutores com o processo avaliativo, evidenciando ganhos operacionais e pedagógicos (ICAO, 2013).

Além disso, organizações como a Delta Air Lines, a Singapore Airlines e centros de treinamento vinculados à Embraer já utilizam soluções baseadas em inteligência artificial em seus programas de treinamento, com foco na padronização de procedimentos, no aprimoramento do Crew Resource Management (CRM) e na personalização do conteúdo instrucional, acompanhando a tendência global de digitalização da formação aeronáutica (EASA, 2019; ICAO, 2013).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise desenvolvida ao longo dos capítulos anteriores permite compreender que a Inteligência Artificial (IA) vem promovendo mudanças significativas nos processos de avaliação de desempenho de pilotos em simuladores de voo. Entretanto, o objetivo dessa tecnologia não consiste em substituir o julgamento humano, mas sim em atuar como ferramenta complementar ao trabalho dos instrutores. Nesse contexto, os sistemas baseados em IA possibilitam avaliações mais precisas, padronizadas e fundamentadas em dados, reduzindo a subjetividade presente nos métodos tradicionais de avaliação, conforme observado nas aplicações atuais e no estudo de caso da Lufthansa Aviation Training.

Além disso, a utilização da Inteligência Artificial reforça o conceito de avaliação formativa e contínua, amplamente discutido por Salas et al. (2010). Por meio de simuladores modernos integrados a sistemas inteligentes, torna-se possível fornecer feedback automatizado em tempo

real, permitindo que os alunos identifiquem com maior clareza suas limitações e potencialidades durante o treinamento. Essa abordagem contribui diretamente para uma aprendizagem mais eficiente, personalizada e baseada em evidências operacionais.

Por outro lado, a implementação dessas tecnologias também apresenta desafios relevantes. Para que os sistemas operem de forma segura e eficiente, é fundamental garantir a confiabilidade dos dados coletados, conforme orientações estabelecidas pela International Civil Aviation Organization (2013), além de assegurar transparência nos algoritmos utilizados e capacitação adequada dos instrutores responsáveis pela interpretação das informações geradas.

Outro aspecto importante refere-se às questões éticas envolvidas no uso da Inteligência Artificial na aviação. Decisões relacionadas à aprovação, reprovação ou necessidade de reforço no treinamento não devem considerar apenas indicadores técnicos automatizados, mas também fatores humanos, emocionais e contextuais observados durante as atividades de simulação.

Comparação entre métodos tradicionais e sistemas baseados em Inteligência Artificial

O gráfico abaixo apresenta uma comparação qualitativa entre métodos tradicionais de avaliação de pilotos e sistemas apoiados por Inteligência Artificial em simuladores de voo. A representação foi elaborada com base nas discussões desenvolvidas ao longo deste estudo, considerando aspectos como padronização da avaliação, feedback em tempo real, capacidade de análise de dados, redução da subjetividade e acompanhamento contínuo do desempenho dos pilotos durante o treinamento.

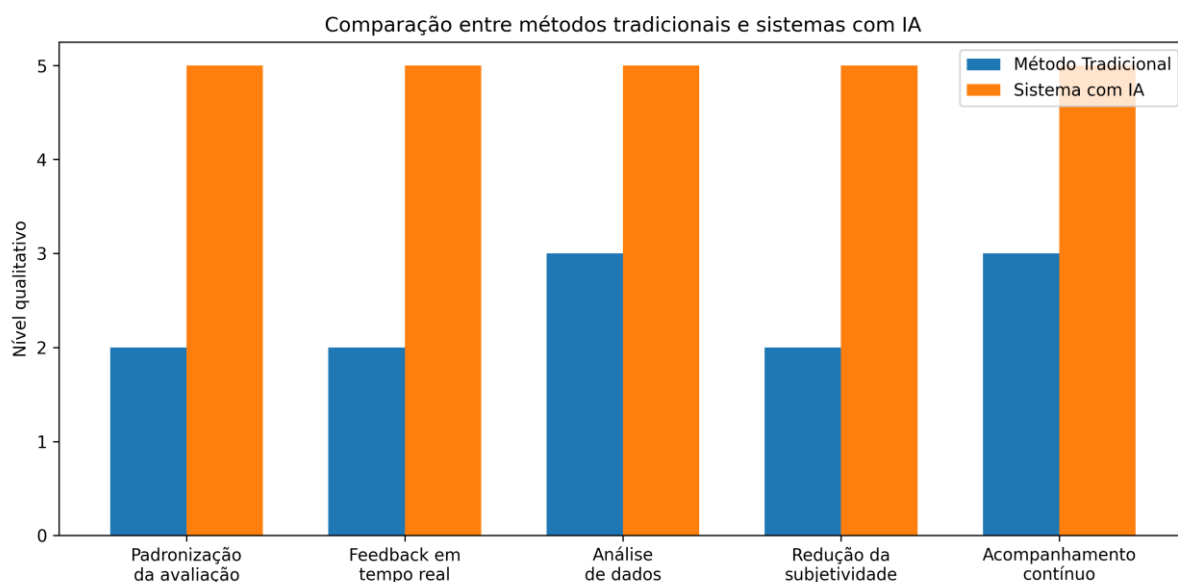


Figura 1 – Comparação qualitativa entre métodos tradicionais e sistemas baseados em Inteligência Artificial aplicados à avaliação de pilotos. Elaboração do autor (2026).

A partir da análise apresentada, observa-se que os sistemas apoiados por Inteligência Artificial possuem maior capacidade de padronização, processamento de dados e geração de

feedback contínuo em comparação aos métodos tradicionais. Entretanto, o estudo também evidencia que a tecnologia deve atuar como ferramenta de apoio ao instrutor humano, e não como substituição do julgamento técnico e da experiência operacional no processo de formação de pilotos.

Dessa forma, conclui-se que a discussão central não deve se concentrar na substituição do instrutor pela tecnologia, mas sim na construção de um modelo integrado, no qual a Inteligência Artificial atue como suporte técnico ao olhar crítico e à experiência dos profissionais responsáveis pela formação de pilotos. A combinação entre inovação tecnológica, conhecimento humano e segurança operacional representa um caminho promissor para o futuro do treinamento aeronáutico.

5 CONCLUSÃO

A realização deste trabalho teve como principal objetivo compreender de que forma a Inteligência Artificial pode contribuir com a avaliação de desempenho de pilotos em simuladores de voo. Ao longo da pesquisa, ficou evidente que, diante da velocidade com que a tecnologia tem evoluído no setor aeronáutico, é urgente revisar e atualizar os métodos tradicionais de ensino e avaliação utilizados na formação de pilotos. A ideia é buscar mais precisão, padronização e eficiência, acompanhando as necessidades atuais do mercado.

Os dados levantados ao longo do estudo revelaram que a IA tem um enorme potencial para transformar a maneira como avaliamos o desempenho dos alunos em simulação. Sistemas inteligentes conseguem analisar uma quantidade significativa de informações geradas durante o treinamento como o uso dos comandos, o tempo de reação, a execução de procedimentos, o comportamento em situações de pressão, entre outros e, com base nisso, produzem análises mais objetivas, detalhadas e livres da subjetividade que pode ocorrer nas avaliações feitas apenas por observação humana.

Um exemplo que reforça isso é o caso da Lufthansa Aviation Training, que já adotou soluções baseadas em IA e obteve ótimos resultados. A integração desses sistemas trouxe mais consistência às avaliações, forneceu feedbacks rápidos e personalizados aos alunos, além de reduzir o tempo necessário para a produção dos relatórios. Isso mostra que, quando utilizada de forma ética e bem planejada, a IA se torna uma parceira importante dos instrutores, complementando seu olhar técnico e contribuindo para uma formação mais completa e segura.

Outro ponto interessante observado é a possibilidade de a IA ajudar a criar trilhas de aprendizagem personalizadas para cada piloto, respeitando o seu ritmo, histórico e principais dificuldades. Essa estratégia vai ao encontro do modelo de treinamento baseado em competências (CBTA), adotado por diversas organizações internacionais e que busca formar pilotos mais preparados para os desafios reais da profissão.

Mesmo com todos esses avanços, a pesquisa também apontou alguns desafios que não podem ser ignorados. Entre eles estão a resistência de alguns profissionais à adoção de novas tecnologias, a necessidade de garantir a proteção dos dados dos alunos e o cuidado para não criar uma dependência excessiva dos sistemas automatizados. Além disso, é fundamental que esses sistemas sejam transparentes, confiáveis e que continuem evoluindo, assim como os profissionais envolvidos no processo de ensino.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pensando no futuro, há muito espaço para a ampliação do uso da IA em outras áreas do treinamento, como a avaliação de habilidades interpessoais (soft skills), o uso de realidade virtual, e o desenvolvimento de ambientes mais imersivos e interativos. Também é essencial investir em parcerias entre instituições de ensino, centros de treinamento e empresas de tecnologia, com o objetivo de construir soluções mais eficazes e alinhadas com a realidade da aviação civil brasileira.

Em resumo, a IA não veio para substituir o instrutor, mas sim para somar. Ela é uma aliada poderosa que pode tornar o processo de ensino mais justo, eficiente e moderno. Ao unir o olhar humano com a precisão tecnológica, podemos alcançar um novo patamar na formação de pilotos, contribuindo para a segurança operacional e para a evolução constante do setor aeronáutico.

REFERÊNCIAS

ANAC. Regulamento Brasileiro da Aviação Civil – RBAC 61: Licenças, Habilitações e Certificados para Pilotos. Brasília: Agência Nacional de Aviação Civil, 2020.

BISHOP, C.M. Pattern Recognition and Machine Learning. New York: Springer, 2006.

CAA. Pilot Fatigue and Human Performance Limitations. London: Civil Aviation Authority, 2016.

CAE INC. Artificial Intelligence Applications in Flight Simulation Training. Montreal: CAE Aviation Report, 2021.

EASA. Artificial Intelligence Roadmap 1.0: A Human-Centric Approach to AI in Aviation. Cologne: European Union Aviation Safety Agency, 2019.

EMBRAER. Tecnologias Aplicadas ao Treinamento Aeronáutico e Simulação de Voo. São José dos Campos: Embraer Relatório Técnico, 2021.

ENDSLEY, M.R. Toward a Theory of Situation Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, v. 37, n. 1, p. 32–64, 1995.

GERON, A. Hands-On Machine Learning with Scikit-Learn, Keras, and TensorFlow. 2. ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2019.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. Deep Learning. Cambridge: MIT Press, 2016.

HART, S.G.; STAVELAND, L.E. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. In: HANCOCK, P.A.; MESHKATI, N. Human Mental Workload. Amsterdam: Elsevier, 1988.

ICAO. Doc 9995 – Manual of Evidence-Based Training. Montreal: International Civil Aviation Organization, 2013.

LINTERN, G. An Overview of Flight Simulation Research. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, v. 6, n. 7, p. 8–15, 1991.

LUFTHANSA AVIATION TRAINING. Digital Training Solutions for Pilot Qualification Programs. Frankfurt: Lufthansa Aviation Training, 2022.

RUSSELL, S.; NORVIG, P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. 4. ed. London: Pearson, 2021.

SALAS, E.; BOWERS, C.A.; RHODENIZER, L. It Is Not How Much You Have but How You Use It: Toward a Rational Use of Simulation to Support Aviation Training. *International Journal of Aviation Psychology*, v. 8, n. 3, p. 197–208, 1998.

SALAS, E.; ROSEN, M.A.; DIAZGRANADOS, D. Expertise-Based Intuition and Decision Making in Organizations. *Journal of Management*, v. 36, n. 4, p. 941–973, 2010.

SALAS, E.; WILSON, K.A.; BURKE, C.S.; PRIEST, H. Using Simulation-Based Training to Improve Patient Safety: What Does It Take? Joint Commission Journal on Quality and Patient Safety, v. 31, n. 7, p. 363–371, 2012.