



Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas

Artigos

REALIDADE VIRTUAL NO TREINAMENTO DE PILOTOS: ANDRAGOGIA E INSTRUÇÃO QUALIFICADA PARA SEGURANÇA E CONFIANÇA NO SETOR AÉREO

Daniel Rino Guimarães¹

RESUMO

A aplicação da Realidade Virtual (VR) no treinamento de pilotos tem se mostrado uma alternativa promissora aos simuladores tradicionais, ao proporcionar experiências imersivas em cenários complexos com menor custo. No entanto, seu uso eficaz depende diretamente da atuação de instrutores qualificados, capazes de empregar metodologias fundamentadas na andragogia para atender às especificidades do aprendiz adulto. Ao integrar conhecimento técnico com práticas pedagógicas adequadas ao ambiente virtual, esses profissionais exercem papel essencial na identificação e correção de falhas operacionais sutis, contribuindo para maior retenção de habilidades e redução de incidentes. A ausência de padrões globais na formação e certificação de instrutores, contudo, ainda representa um obstáculo à consolidação dessa ferramenta. O presente artigo, baseado em revisão bibliográfica discute a importância da qualificação docente para que a realidade virtual, corretamente aplicada, promova ganhos significativos na segurança aérea. Conclui-se que investir em capacitação alinhada à andragogia e às novas tecnologias é fundamental para elevar a confiança no setor e minimizar a ocorrência de acidentes.

Palavras-chave: Realidade Virtual; Instrutores Qualificados; Andragogia; Segurança Aérea; Treinamento de Pilotos; Experiências Imersivas.

¹ Aviador e tutor particular de matérias de aviação civil. Bacharel em Ciências Aeronáuticas com pós-graduações em gestão de processos e psicologia organizacional. E-mail: danielrino@hotmail.com

VIRTUAL REALITY IN PILOT TRAINING: ANDRAGOGY AND QUALIFIED INSTRUCTION FOR SAFETY AND CONFIDENCE IN THE AVIATION SECTOR

ABSTRACT

The application of Virtual Reality (VR) in pilot training has proven to be a promising alternative to traditional simulators by providing immersive experiences in complex scenarios at a lower cost. However, its effective use depends directly on the role of qualified instructors capable of employing methodologies grounded in andragogy to address the specificities of adult learning. By integrating technical knowledge with pedagogical practices suited to the virtual environment, these professionals play a crucial role in identifying and correcting subtle operational errors, thereby contributing to greater skill retention and a reduction in incidents. Nonetheless, the lack of global standards for instructor training and certification still represents an obstacle to the consolidation of this tool. This article, based on a literature review, discusses the importance of instructor qualification so that virtual reality, when properly applied, can lead to significant improvements in aviation safety. It concludes that investing in training aligned with andragogy and new technologies is essential to strengthen confidence in the industry and minimize the occurrence of accidents.

Keywords: *Virtual Reality; Qualified Instructors; Andragogy; Flight Safety; Pilot Training; Immersive Experiences.*

1 INTRODUÇÃO

A aviação tem evoluído ao longo dos anos em diversos aspectos, como no desenvolvimento de novos combustíveis, na padronização de procedimentos e no aprimoramento contínuo da segurança operacional. No entanto, uma área específica da aviação exerce um papel preliminar e essencial para balizar toda a operação aérea: a instrução de voo. É nesse segmento que se constrói a base da formação dos futuros pilotos, e a relação entre aluno e instrutor ganha destaque como elemento central desse processo. Em um país de dimensões continentais e com crescente demanda por profissionais qualificados, a instrução de voo representa não apenas uma etapa

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 5, n. 3, p. 109-129, jun/jul. 2025.

técnica, mas também um compromisso com a formação ética, disciplinada e segura dos aviadores que irão compor o sistema aeronáutico nacional.

Todavia, a instrução qualificada não se mostra relevante apenas no contexto brasileiro, mas também em países como os Estados Unidos, nações europeias e em qualquer outro lugar onde a aviação esteja presente. Seja nas fases iniciais da formação, com alunos dando os primeiros passos na pilotagem ou já em grandes companhias aéreas e empresas de aviação, a qualidade da instrução é fundamental. Em todos os níveis, desde o ensino básico até o treinamento avançado, o preparo técnico e comportamental dos pilotos depende diretamente da excelência na instrução recebida, o que impacta de forma decisiva na segurança e na eficiência das operações aéreas ao redor do mundo.

A qualidade da instrução de voo reflete diretamente na relevância que um país alcança ao contar com instrutores qualificados. Uma formação sólida de novos pilotos estabelece fundamentos técnicos e comportamentais que impactam toda a operação aérea, elevando os níveis de segurança. Com operações mais seguras e eficientes, aumenta a confiança dos usuários e o uso dos serviços aéreos, fortalecendo a aviação civil e a credibilidade do país. Atualmente, a realidade virtual, com equipamentos como os da Meta e HTC, oferece a possibilidade de treinamentos imersivos que ampliam a percepção situacional, contribuindo para a segurança e eficácia da instrução.

2 REVISÃO TEÓRICA

Jafer *et al.*, (2017) destacam que o treinamento em diferentes contextos operacionais é essencial para o desenvolvimento e a manutenção da proficiência dos pilotos, favorecendo a consciência situacional, a tomada de decisão e a resposta a imprevistos – elementos fundamentais para a segurança aérea. Desde o início da

carreira, a instrução de voo é indispensável. Instrutores são fundamentais na formação técnica e comportamental, e continuam exercendo papel central mesmo com pilotos experientes, especialmente em transições para aeronaves mais complexas, quando é necessário alinhar experiências anteriores à doutrina da empresa.

Henley (2003) defende estratégias específicas para o ensino de adultos, como pilotos em requalificação, que já possuem autonomia, experiências e senso crítico. Isso exige abordagens didáticas alinhadas à andragogia, como apontam Conrad *et al.* (2017), Foley (2014) e Bye *et al.*, (2003), que valorizam a experiência prévia e a aplicação prática do conteúdo. Nesse cenário, a realidade virtual tem se mostrado eficaz na instrução aeronáutica. Thomas *et al.*, (2023), Fussel *et al.*, (2020) e Hight *et al.*, (2022) ressaltam suas vantagens: realismo, economia e desenvolvimento de competências em ambientes seguros.

O comandante Gustavo Tannous (2025), com ampla experiência como instrutor, afirma que a realidade virtual é um diferencial relevante no treinamento, especialmente em fases de transição e qualificação. Segundo ele, o ambiente imersivo favorece o engajamento e a retenção do conteúdo, sendo essencial que o instrutor domine conceitos andragógicos para potencializar os resultados.

A integração entre realidade virtual e princípios andragógicos requer instrutores qualificados, com domínio técnico, sensibilidade didática e capacidade de adaptar recursos às necessidades individuais. O papel desses profissionais ultrapassa a mera transmissão de conteúdo, promovendo um ambiente colaborativo e eficaz de aprendizado (Gustavo Tannous, 2025).

Dado o papel estratégico da aviação civil em países de grande extensão territorial, investir em formação moderna e instrutores preparados representa não só um avanço em segurança operacional, mas também um diferencial competitivo. A ideia deste trabalho surgiu a partir de conversas com o comandante Gustavo Tannous

(2025), que reforça o potencial das tecnologias imersivas para alinhar a instrução às exigências contemporâneas, com impactos positivos também na economia do setor.

3 METODOLOGIA

A presente investigação caracteriza-se como qualitativa e exploratória, sendo conduzida com base em fontes bibliográficas e documentais. Esse tipo de abordagem é indicado quando se busca aprofundar a compreensão sobre determinado tema, sobretudo em áreas ainda pouco discutidas, permitindo levantar reflexões e possíveis hipóteses.

Como destacado por Tumelero (2019), pesquisas com essa natureza costumam se apoiar em referências já existentes e em exemplos práticos que auxiliem na assimilação dos conteúdos. Gil (2009), por sua vez, observa que a pesquisa bibliográfica utiliza predominantemente materiais como livros, artigos científicos e publicações técnicas, sendo amplamente empregada na construção de estudos fundamentados teoricamente.

3.1 COLETA DE DADOS

A coleta de dados se baseou na análise de materiais previamente publicados, selecionados a partir de critérios de relevância e atualidade. Foram consultadas obras especializadas, artigos acadêmicos, publicações institucionais e documentos técnicos relacionados à formação de pilotos, instrução qualificada e uso da realidade virtual no treinamento aeronáutico. Também foi realizada uma entrevista semiestruturada com o comandante Gustavo Tannous, profissional com ampla experiência em instrução de voo, cujo relato complementou os dados obtidos por meio das fontes bibliográficas.

3.2 ANÁLISE DE DADOS

A análise dos dados seguiu uma abordagem qualitativa interpretativa. As informações obtidas foram examinadas de maneira descritiva, permitindo identificar convergências entre os fundamentos teóricos e a prática relatada pelo profissional entrevistado. Essa estratégia analítica possibilitou compreender como a qualificação do instrutor impacta o uso da realidade virtual na formação de pilotos, reforçando a importância da aplicação de metodologias baseadas na andragogia e no domínio técnico-pedagógico para promover segurança e eficiência nas operações aéreas.

4 DESENVOLVIMENTO

A compreensão de como os adultos aprendem tem se tornado cada vez mais relevante, especialmente em áreas de formação técnica contínua, como a aviação. Nesse cenário, a andragogia se destaca como abordagem voltada ao ensino de adultos, diferenciando-se da pedagogia, que foi concebida para crianças, com foco na dependência do educando e na transmissão direta do conhecimento.

4.1 ANDRAGOGIA

Kolmos *et al.*, (2019) reforçam que adultos, especialmente os mais velhos, assimilam conhecimento de forma distinta. Programas padronizados podem ser pouco eficazes se não considerarem fatores como memória, ritmo de aprendizado e necessidade de contextualização. Isso é ainda mais evidente diante de inovações como cockpits digitais e VR, que exigem abordagens adaptadas.

Assim, o sucesso da instrução com adultos na aviação depende da competência do instrutor em aplicar os princípios da andragogia, valorizando a experiência do aluno e promovendo um aprendizado eficaz e seguro (Gustavo Tannous, 2025).

Segundo Gustavo Tannous (2025, informação verbal), o ensino deve ser ajustado conforme o nível de experiência: com iniciantes, o papel do instrutor é mais diretivo; com profissionais experientes, deve-se focar no realinhamento de condutas, correção de vícios e adaptação tecnológica. Ferraz *et al.*, (2004) reforçam a importância de métodos que respeitem a autonomia e o repertório prévio do adulto, contribuindo diretamente para a segurança operacional.

4.2 REALIDADE VIRTUAL NA AVIAÇÃO

A incorporação da VR no setor aeronáutico tem se mostrado uma inovação relevante, principalmente no contexto do treinamento de pilotos. Essa tecnologia tem sido explorada como parte da chamada educação 4.0, cuja proposta é alinhar os métodos de ensino ao avanço tecnológico que acompanha a modernização das aeronaves. Segundo de Jesus e da Silva (2021), o surgimento dos *cockpits* digitais (*glass cockpit*) exigiu dos profissionais habilidades cada vez mais refinadas de gerenciamento de sistemas, o que impactou diretamente os processos de formação e reciclagem de pilotos. Nesse cenário, a Realidade Virtual surge como uma alternativa que favorece a aprendizagem e a retenção de conhecimento ao simular, com alto grau de realismo, situações operacionais complexas.

Além disso, o uso da VR não se limita apenas à instrução em procedimentos rotineiros, mas também se estende ao preparo psicológico e cognitivo dos pilotos para enfrentarem ilusões sensoriais e situações de risco. Thomas *et al.* (2021) destacam que a utilização de treinadores virtuais pode contribuir significativamente

para a conscientização dos profissionais quanto às ilusões de largura de pista durante aproximações, promovendo uma operação mais segura e eficaz.

A aplicação dessa tecnologia também tem sido expandida para os setores de manutenção e inspeção aeronáutica. Eschen *et al.*, (2018) observam que a maturidade dos dispositivos de Realidade Aumentada e Virtual tem possibilitado sua adoção em processos tradicionalmente suscetíveis a erros e que demandam precisão. Nesse sentido, tais tecnologias não apenas aumentam a eficiência operacional, como também reduzem o tempo necessário para o cumprimento de tarefas críticas, colaborando para a segurança e a produtividade no ambiente aeronáutico.

4.2.1 Benefícios

A realidade virtual (VR) tem ganhado espaço no treinamento aeronáutico ao oferecer uma instrução imersiva, tecnológica e eficiente. De acordo com de Jesus e da Silva (2021), a introdução dos *glass cockpits* nas aeronaves modernas tornou o treinamento mais exigente, exigindo formação contínua e adaptada às novas tecnologias.

Com a VR, pilotos podem praticar procedimentos em ambientes virtuais que simulam fielmente a cabine da aeronave, facilitando a familiarização com layout e sistemas. Dispositivos como os óculos Meta Quest proporcionam uma sensação de presença superior às simulações tradicionais em tela (Figura 1).

Além das habilidades técnicas, a VR apresenta vantagens logísticas. Seu uso requer menos espaço físico, permitindo instalar várias estações de treinamento no local de um único simulador tradicional, o que reduz custos e amplia o acesso, inclusive em regiões com infraestrutura limitada.

Um exemplo relevante é o uso da VR pelo exército dos EUA, que, ao combinar headsets com inteligência artificial e biometria, reduziu o tempo de formação de

pilotos de um ano para quatro meses. O custo por *headset* ficou em mil dólares, em comparação aos 4,5 milhões dos simuladores convencionais (Narayanan; Nazarenko, 2025).

Figura 1 – Realidade virtual na visão do usuário



Fonte: Adams (2018).

Conforme ilustrado na Figura 1, o uso da realidade virtual no treinamento de pilotos permite uma ambientação tridimensional altamente fidedigna, favorecendo a percepção espacial do ambiente de voo. Essa imersão seria limitada em uma interface tradicional, como a visualização em tela 2D de um computador convencional. Com o uso de óculos de realidade virtual, o aprendiz é inserido em um espaço que simula com maior realismo a profundidade, a distância e a posição relativa dos instrumentos e controles da cabine, o que contribui significativamente para a familiarização com o ambiente operacional e para o desenvolvimento de habilidades motoras e cognitivas condizentes com o contexto real de atuação (Tannous, 2025, informação verbal).

A empresa Indra (2021) relatou que seus sistemas baseados em VR reduziram pela metade o tempo de formação de pilotos. No setor comercial, companhias como a Southwest Airlines têm adotado ferramentas similares para diminuir custos

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 5, n. 3, p. 109-129, jun/jul. 2025.

operacionais e aumentar a flexibilidade na capacitação das tripulações (Narayanan; Nazarenko, 2025).

Os dispositivos de realidade virtual (VR) oferecem uma experiência tridimensional imersiva, que fortalece a consciência situacional e a atitude mental do piloto diante de eventos operacionais. Thomas *et al.*, (2021) destacam que esse tipo de treinamento reduz o tempo de adaptação à cabine e melhora a resposta a situações críticas.

Como mostrado na Figura 1, a VR proporciona uma ambientação tridimensional fiel, aprimorando a percepção espacial, o que não é possível em interfaces 2D. Com os óculos de realidade virtual, o piloto visualiza profundidade, distância e posição dos instrumentos com mais realismo, favorecendo o desenvolvimento de habilidades motoras e cognitivas adequadas ao ambiente real (Gustavo Tannous, 2025, informação verbal).

A popularização da VR também trouxe vantagens econômicas, possibilitando seu uso por companhias aéreas e pilotos particulares. Eschen *et al.*, (2018) ressaltam sua eficácia em áreas como a manutenção aeronáutica, contribuindo para a redução de erros e o aumento da produtividade. Além disso, estudos como o de Cross *et al.* (2025) demonstram a viabilidade do treinamento colaborativo em VR. Simuladores imersivos permitiram que dois pilotos interagissem de forma eficaz, simulando cenários típicos de formação em aeronaves comerciais.

A VR, portanto, não apenas contribui para a formação técnica, mas também estimula o desenvolvimento cognitivo e comportamental, alinhando-se às exigências da aviação contemporânea (Gustavo Tannous, 2025, informação verbal). Para isso, é essencial que empresas e centros de formação invistam em instrutores qualificados e em métodos baseados na andragogia, conforme defendem Ferraz (2004) e Santos (2010), reconhecendo a autonomia e a experiência prévia do aluno adulto.

Nesse contexto, destaca-se a abordagem preditiva da segurança, como apontam Ancel *et al.*, (2015) e Gustavo Tannous (2025), que defendem o uso de ferramentas para antecipar riscos e prevenir acidentes. Investir em instrução de qualidade é, assim, uma estratégia eficaz para fortalecer a segurança operacional.

4.2.2 Relação entre treinamento efetivo e a segurança operacional

A relação entre a eficácia do treinamento e a segurança operacional tem sido amplamente discutida na literatura. Lintern (1995), ao abordar a cognição situada, afirma que o aprendizado é limitado quando ocorre fora do contexto em que será aplicado, gerando competências inertes e pouco efetivas na prática. Para evitar esse problema, o autor propõe estratégias que integrem o ambiente operacional ao processo formativo, respeitando a natureza auto-organizável da aprendizagem. Destaca ainda a importância de desenvolver programas de treinamento com a participação de profissionais da aviação, assegurando a transferência real das habilidades para a operação segura do voo.

Nesse sentido, Elshaw (2018) reforça que a presença de instrutores bem preparados é um elemento determinante na consolidação do aprendizado efetivo. A qualidade da instrução oferecida está diretamente relacionada ao domínio técnico e didático do instrutor, cuja atuação influencia de forma significativa na formação de pilotos confiantes e competentes. Instrutores qualificados não apenas transmitem o conteúdo necessário, como também são capazes de adaptar métodos ao perfil do aprendiz, promovendo um ambiente propício ao desenvolvimento de habilidades críticas à segurança (Gustavo Tannous, 2025, informação verbal).

Pinto *et al.*, (2017) definem a segurança operacional como a manutenção constante de níveis aceitáveis de risco nas operações aéreas, destacando o treinamento como fator crucial. Quando realizado por profissionais capacitados e

alinhado ao ambiente operacional, o treinamento fortalece a integridade do sistema e a cultura de segurança. Nesse contexto, o treinamento de pilotos vai além da exigência regulatória, funcionando como mecanismo contínuo para garantir a proficiência técnica e a atualização frente às mudanças tecnológicas e operacionais (Gustavo Tannous, 2025, informação verbal).

4.2.3 A importância da instrução qualificada para o cenário econômico de um país

A aviação exerce papel estratégico no desenvolvimento econômico de um país, e sua expansão está diretamente relacionada à confiança do público no setor, à qualidade dos serviços oferecidos e, sobretudo, ao nível de segurança operacional. Para que esse cenário se consolide de forma sustentável, é indispensável contar com um corpo de instrutores altamente qualificados, capazes de formar profissionais proficientes e preparados para atuar em ambientes complexos e em constante transformação. A atuação do instrutor de voo vai além da simples transmissão de conhecimento técnico. Como destacado por Krahenbuhl *et al.*, (1981), esses profissionais desempenham um papel essencial na gestão do comportamento dos alunos, na condução de habilidades não técnicas e no fortalecimento da capacidade de tomada de decisão, elementos que influenciam diretamente a segurança e o desempenho operacional.

No entanto, como revelado por Henley *et al.* (1991), práticas tradicionais ainda são predominantes em muitos contextos, com ênfase na repetição mecânica e na imitação, o que pode limitar o desenvolvimento de habilidades críticas e autônomas por parte dos futuros pilotos. A permanência de tais vícios instrucionais compromete não apenas a qualidade da formação, mas também a segurança das operações e, por consequência, a credibilidade do setor. Gustavo Tannous (2021) reforça essa perspectiva ao destacar que a qualidade da instrução está intimamente ligada à

capacidade de orientar comportamentos seguros e decisões acertadas, aspectos que são determinantes no ambiente de voo.

Em uma perspectiva mais ampla, Lenaerts *et al.*, (2021) evidenciam que a aviação é um vetor de integração econômica e um dos pilares da globalização, ao promover o acesso a mercados e estimular cadeias logísticas e produtivas. Da mesma forma, Baker *et al.* (2015) demonstram empiricamente a correlação positiva entre o crescimento da aviação regional e o avanço econômico, indicando que investimentos em formação, infraestrutura e conectividade refletem diretamente no desenvolvimento das regiões atendidas.

Nesse contexto, tecnologias emergentes como a realidade virtual vêm se destacando como ferramentas promissoras para o aprimoramento da instrução. Ao possibilitar um ambiente imersivo, interativo e de baixo risco, essas plataformas ampliam as oportunidades de treinamento e permitem que pilotos desenvolvam e mantenham sua proficiência de forma contínua. A integração de recursos sensoriais e simulações realistas contribui para a consolidação de habilidades operacionais e decisórias em cenários variados, fortalecendo o elo entre treinamento e prática. Com isso, eleva-se o nível da segurança operacional, elemento fundamental para manter a confiança dos usuários no transporte aéreo (Gustavo Tannous, 2025).

Portanto, é possível estabelecer uma relação direta entre a presença de instrutores qualificados, o uso de métodos pedagógicos inovadores – como a realidade virtual – e os avanços econômicos impulsionados por um setor aéreo eficiente e confiável. À medida que a instrução bem estruturada se traduz em operações mais seguras, ela também sustenta a imagem positiva da aviação, atrai novos usuários, gera investimentos e promove o crescimento sustentável de uma nação.

A instrução qualificada, quando orientada por princípios andragógicos, desempenha papel central na formação de pilotos que já possuem vivência prévia na

aviação. Conforme defendido por Gustavo Tannous (2025), o uso da realidade virtual, ao simular ambientes de alta complexidade operacional, permite ao aluno adulto não apenas absorver o conteúdo de forma mais eficiente, mas também desenvolver habilidades cognitivas e comportamentais que são cruciais em contextos reais de voo. Essa abordagem respeita o ritmo individual do aprendente, valoriza sua bagagem anterior e promove um aprendizado significativo, o que contribui diretamente para a elevação dos padrões de segurança operacional.

A segurança, por sua vez, não é um valor isolado, mas sim o alicerce sobre o qual se constrói a confiança no setor aéreo. Ao priorizar metodologias modernas e instrutores devidamente capacitados para interagir com adultos em ambientes imersivos, como Gustavo Tannous (2025) propõe, as companhias aéreas tendem a reduzir significativamente a incidência de erros operacionais, melhorando os indicadores de confiabilidade e desempenho. A confiança gerada por essa cultura de excelência instrucional se estende a passageiros, reguladores e parceiros comerciais, consolidando a imagem do setor como um todo.

Outro ponto destacado indiretamente por Gustavo Tannous (2025) é a relação custo-benefício da implementação da realidade virtual. Trata-se de uma tecnologia que, embora envolva investimento inicial, representa economia expressiva em médio e longo prazo quando comparada aos custos operacionais de aeronaves reais e simuladores tradicionais de grande porte. Além disso, o impacto positivo na qualidade da instrução permite reduzir retrabalhos, reforços desnecessários e riscos operacionais decorrentes de falhas de treinamento, o que gera economia e eficiência para o setor.

Portanto, a proposta de Gustavo Tannous¹ (2025) vai além da inovação tecnológica: trata-se de uma defesa sólida por uma nova forma de pensar o ensino na aviação, centrada no respeito ao adulto, na valorização da experiência prévia e no

¹ Informações verbais em 10/07/2025.

R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 5, n. 3, p. 109-129, jun/jul. 2025.

uso inteligente de ferramentas imersivas. Essa visão, ancorada em práticas pedagógicas consistentes, impulsiona não apenas a segurança, mas a sustentabilidade econômica e a credibilidade do transporte aéreo – valores de suma importância para qualquer país que almeje excelência em sua aviação civil.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados indicam que a aplicação da VR no treinamento de pilotos oferece benefícios significativos em termos de engajamento, retenção do conteúdo, imersão e simulação de situações complexas. Com base nas análises documentais e revisão bibliográfica, observa-se que o uso dessa tecnologia promove um ambiente de aprendizagem mais interativo e adaptado à realidade do adulto, respeitando os princípios da andragogia, como a autonomia do aprendiz, a relevância prática e a experiência prévia (Gustavo Tannous, 2025).

Os estudos de Freiwald *et al.*, (2013) e Henley *et al.*, (1991) reforçam que o treinamento tradicional, muitas vezes, ainda está preso a métodos pouco atrativos e baseados na repetição mecânica de tarefas. Já os ambientes virtuais possibilitam simulações ricas em variabilidade, o que permite que o piloto vivencie situações anormais ou de emergência sem risco real, promovendo a construção de um repertório de respostas mais eficazes. Isso contribui diretamente para a segurança de voo, especialmente ao considerar que falhas humanas seguem sendo uma das principais causas de incidentes e acidentes.

O caráter repetitivo e imersivo da VR se mostrou eficaz para consolidar hábitos operacionais corretos, permitindo que o aluno-piloto erre e aprenda com os próprios erros dentro de um ambiente controlado. Além disso, os recursos virtuais favorecem o *feedback* imediato, algo que é valorizado por adultos em formação.

Em suma, a VR vem se configurando como uma ferramenta complementar extremamente valiosa ao ensino tradicional, especialmente quando aliada a metodologias ativas e andragógicas que respeitam as especificidades do público adulto da aviação.

6 CONCLUSÕES

A aplicação da VR no treinamento de pilotos representa um avanço significativo no setor aeronáutico, especialmente quando integrada a práticas educacionais baseadas na andragogia. A tecnologia contribui para uma formação mais eficiente, segura e adaptada às exigências do ambiente operacional contemporâneo, caracterizado por sua alta complexidade e demanda por respostas rápidas e precisas.

O estudo permitiu compreender que a VR não substitui completamente os treinamentos convencionais, mas os complementa com grande eficiência. Ao proporcionar simulações de cenários críticos, ambientes tridimensionais e interativos, e permitir que o aluno-piloto desenvolva competências práticas de forma segura e contínua, a VR colabora diretamente para a construção de uma cultura de segurança operacional mais robusta.

Um dos benefícios mais destacados da VR é a significativa redução dos custos operacionais relacionados ao treinamento. Enquanto um simulador tradicional pode custar em torno de 4,5 milhões de dólares, o uso de headsets de VR reduz esse investimento para cerca de mil dólares por unidade. Essa diminuição expressiva permite a expansão do acesso ao treinamento de qualidade, especialmente em ambientes remotos ou com recursos limitados, tornando o processo formativo muito mais viável financeiramente para instituições militares e civis.

Além disso, constatou-se que o uso da VR respeita princípios fundamentais da aprendizagem de adultos, como a autonomia, a experiência prévia e o foco na aplicabilidade prática. Essa adequação à realidade do aluno-piloto adulto torna o processo formativo mais significativo, contribuindo para o desenvolvimento de uma mentalidade segura, crítica e reflexiva.

Portanto, a VR não é apenas uma inovação tecnológica, mas uma estratégia pedagógica transformadora que, quando bem implementada, potencializa os resultados de aprendizagem, fortalece a segurança de voo e promove uma economia milionária nos custos de treinamento operacional.

REFERÊNCIAS

- Adams, E. (2018, June 26). **VR pilot training now comes with a sense of touch**. WIRED. <https://www.wired.com/story/pilot-training-simulator-vr-haptic-touch/> Acesso em: 15 jul. 2025
- Aebersold, M. (2016). The history of simulation and its impact on the future. **AACN advanced critical care**, 27(1), 56-61. Disponível em: <https://aacnjournals.org/aacnacconline/article-abstract/27/1/56/2260> Acesso em: 08 de jul. 2025
- Ancel, E., Shih, A. T., Jones, S. M., Reveley, M. S., Luxhøj, J. T., & Evans, J. K. (2015). Predictive safety analytics: inferring aviation accident shaping factors and causation. **Journal of Risk Research**, 18(4), 428-451. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/13669877.2014.896402> Acesso em: 14 jul. 2025
- Balcerzak, T., & Kostur, K. (2018). Flight Simulation in Civil Aviation: advantages and disadvantages. **Revista europea de derecho de la navegación marítima y aeronáutica**, (35), 35-68. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6953721> Acesso em: 08 jul. 2025.
- Baker, D., Merkert, R., & Kamruzzaman, M. (2015). Regional aviation and economic growth: cointegration and causality analysis in Australia. **Journal of Transport Geography**, 43, 140-150. Disponível em:
R. bras. Av. civil. ci. Aeron., Florianópolis, v. 5, n. 3, p. 109-129, jun/jul. 2025.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0966692315000265> Acesso em: 15 jul. 2025

Bye, J., & Henley, I. (2003). Characteristics of adult learners and adult learning principles: Implications for aviation education. **Aviation education and training: Adult learning principles and teaching strategies**, 30-62. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=279BDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT44&dq=aviation+and+andragogy&ots=FLli8ecXZi&sig=dqH3FSPpA042pi9FshlNh_3tPBc Acesso em: 11 jul. 2025.

Conrad, D. L., & Harris, J. (2017). 3 Aviation, Adult Learning and Andragogy: A Canadian Perspective. **Aviation Education and Training: Adult Learning Principles and Teaching Strategies**. Disponível em: https://books.google.com.br/books?hl=pt-BR&lr=&id=279BDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT73&dq=aviation+and+andragogy&ots=FLli8ecXZi&sig=i4ZEBJnMjVI-FlvXj_rRJi2Hsc Acesso em: 09 jul. 2025.

Cross, J. I., & Boag-Hodgson, C. C. (2025). A Collaborative Virtual Reality Flight Simulator: Efficacy, Challenges and Potential. **IEEE Transactions on Learning Technologies**. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10838287> Acesso em: 12 jul. 2025

de Jesus, J. V.; Silva, T. A. da. (2021). TREINAMENTO COM REALIDADE AUMENTADA NO SETOR DE AVIAÇÃO: AVIATION TRAINING WITH AUGMENTED REALITY. **Revista Brasileira de Aviação Civil & Ciências Aeronáuticas**, 1(3), 165-188. Disponível em: <https://rbaccia.emnuvens.com.br/revista/article/view/48> Acesso em: 12 jul. 2025

Eschen, H., Kötter, T., Rodeck, R., Harnisch, M., & Schüppstuhl, T. (2018). Augmented and virtual reality for inspection and maintenance processes in the aviation industry. **Procedia manufacturing**, 19, 156-163. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2351978918300222> Acesso em: 12 jul. 2025.

Elshaw, C. (2018). Preparing better flight instructors. In **Aviation instruction and training** (pp. 253-270). Routledge. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.4324/9780429463273-21/preparing-better-flight-instructors-elshaw> Acesso em: 15 jul. 2025

Ferraz, S. F. D. S. (2004). LIMA, Tereza Cristina Batista de; SILVA, Suely Mendonça de Oliveira e. **Contratos de aprendizagem: Princípios andragógicos e ferramenta de gestão da aprendizagem**. ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ADMINISTRAÇÃO-ENANPAD, 28.

Foley, L. L. (2014). **Qualitative Case Study of Andragogy Perceptions and Culture at a Major US International Airport**. Northcentral University. Disponível em: <https://search.proquest.com/openview/49488fcd9e275a7b96f5496dba180db9/1?pq-origsite=gscholar&cbl=18750> Acesso em: 11 jul. 2025

Freiwald, D., Lenz-Anderson, C., & Baker, E. (2013). Assessing safety culture within a flight training organization. **Journal of Aviation/Aerospace Education and Research**, 22(2), 41. Disponível em: <https://commons.erau.edu/db-applied-aviation/2/> Acesso em: 12 jul. 2025

Fussell, S. G., & Truong, D. (2020). Preliminary results of a study investigating aviation student's intentions to use virtual reality for flight training. **International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace**, 7(3), 2. Disponível em: <https://commons.erau.edu/ijaaa/vol7/iss3/2/> Acesso em: 09 jul. 2025

Gil, A. C. (2002). **Como elaborar projetos de pesquisa** (Vol. 4, p. 175). São Paulo: Atlas.

Hattingh, A., Hodge, S., & Mavin, T. (2022). Flight instructor perspectives on competency-based education: insights into educator practice within an aviation context. **International Journal of Training Research**, 20(3), 264-282. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/14480220.2022.2063155> Acesso em: 15 jul. 2025

Henley, I. M. (2017). **Aviation education and training: Adult learning principles and teaching strategies**. Routledge. Disponível em: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.4324/9781315261874/aviation-education-training-irene-henley> Acesso em: 09 jul. 2025.

Henley, I. (1991). The development and evaluation of flight instructors: A descriptive survey. **The International Journal of Aviation Psychology**, 1(4), 319-333. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327108ijap0104_5 Acesso em: 15 jul. 2025

Hight, M. P., Fussell, S. G., Kurkchubasche, M. A., & Hummell, I. J. (2022). Effectiveness of virtual reality simulations for civilian, ab initio pilot training. **Journal of Aviation/Aerospace Education & Research**, 31(1), 1. Disponível em: <https://commons.erau.edu/jaaer/vol31/iss1/1/> Acesso em: 09 jul. 2025

Indra. (2021). **Indra desenvolve um sistema de simulação baseado em realidade virtual que reduz pela metade o tempo de treinamento de pilotos**. Indra. Disponível em: <https://www.indracompany.com/pt-br/noticia/indra-desenvolve-simulacao-baseado-realidade-virtual-reduz-metade-treinamento-pilotos> Acesso em: 18 jul. 2025.

Jafer, S., & Durak, U. (2017, April). Tackling the complexity of simulation scenario development in aviation. In **Proceedings of the Symposium on Modeling and Simulation of Complexity in Intelligent, Adaptive and Autonomous Systems** (pp. 1-10). Disponível em: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/3108414.3108418> Acesso em: 09 jul. 2025

Kolmos, J. A. (2019). General Aviation Pilots Transition to Advanced Cockpit Technologies and Adult Learning. The Collegiate Aviation **Review International**, 37(1). Disponível em: <https://ojs.library.okstate.edu/osu/index.php/CARI/article/view/7816> Acesso em: 12 jul. 2025

Krahenbuhl, G. S., Darst, P. W., Marett, J. R., Reuther, L. C., Constable, S. H., Swinford, M. E., & Reid, G. B. (1981). Instructor pilot teaching behavior and student pilot stress in flight training. **Aviation, space, and environmental medicine**, 52(10), 594-597. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Gary-Krahenbuhl/publication/15904346_Instructor_pilot_teaching_behavior_and_student_pilot_stress_in_flight_training/links/559bf10f08ae898ed650afe3/Instructor-pilot-teaching-behavior-and-student-pilot-stress-in-flight-training.pdf Acesso em: 15 jul. 2025

Lenaerts, B., Allroggen, F., & Malina, R. (2021). The economic impact of aviation: A review on the role of market access. **Journal of Air Transport Management**, 91, 102000. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0969699720305822> Acesso em: 15 jul. 2025

Lintern, G. (1995). Flight instruction: The challenge from situated cognition. **The International Journal of Aviation Psychology**, 5(4), 327-350. Disponível em: https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s15327108ijap0504_1 Acesso em: 15 jul. 2025

Narayanan, C., & Nazarenko, Y. (2025, 22 de janeiro). *Integrating virtual reality into flight training*. **Skies Magazine**. Disponível em: <https://skiesmag.com/features/integrating-virtual-reality-into-flight-training> Acesso em: 18 jul. 2025

Pinto, L. S. A., & de Abreu Freitas, R. (2017). Segurança Operacional na Aviação de Estado: Premissas e Paradigmas. **Revista Conexão SIPAER**, 8(2), 21-25. Disponível em: <http://104.236.28.163/index.php/sipaer/article/view/428> Acesso em: 15 jul. 2025

Santos, C. C. R. (2010). **Andragogia: Aprendendo a ensinar adultos**. Resende, RJ. Disponível em:

http://www.aedb.br/seget/arquivos/artigos10/402_ArtigoAndragogia.pdf Acesso em: 12 jul. 2025.

Tannous, Gustavo. A. (2021). **Tomada de decisão e segurança da atividade aérea** (Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade do Sul de Santa Catarina). Repositório Ânima. <https://repositorio.animaeducacao.com.br/items/91138a8d-2b7f-43ab-9a2b-b8b3d9eb6144> Acesso em: 15 jul. 2025

Thomas Ph D, R. L., Albelo Ph D, J. L., & Wiggins Ed D, M. (2023). Enhancing pilot training through virtual reality: Recognizing and mitigating aviation visual and vestibular illusions. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 10(3), 10. Disponível em: <https://commons.erau.edu/ijaaa/vol10/iss3/10/> Acesso em: 09 jul. 2025

Thomas, R. L., Dubena, R., Camacho, G., Nieves, N., Barcza, T., Green, S., & Perera, D. (2021). Usability of the virtual reality aviation trainer for runway-width illusions. *The Collegiate Aviation Review International*, 39(2). Disponível em: <https://ojs.library.okstate.edu/osu/index.php/CARI/article/view/8356> Acesso em: 12 jul. 2025

Tumelero, N. (2019). **O que é pesquisa exploratória?** Metzzer. Disponível em: <https://blog.metzzer.com/pesquisa-exploratoria/> Acesso em: 12 jul. 2025

**Revista Brasileira de Aviação Civil
& Ciências Aeronáuticas**

ISSN 2763-7697