



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2021

JOAQUIM NETO **DIAS**, Cap Eng

**Análise da eficiência de simuladores de voo de baixa fidelidade para o  
treinamento de pilotos**

Rio de Janeiro

2021

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2021

JOAQUIM NETO **DIAS**, Cap Eng

**Análise da eficiência de simuladores de voo de baixa fidelidade para o  
treinamento de pilotos**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação em Gestão Pública com ênfase em Projetos e Processos.

Linha de Pesquisa: Emprego da Força Aérea  
Orientador(a): Maj Int Jaqueline

Rio de Janeiro

2021

JOAQUIM NETO **DIAS**, Cap Eng

**Análise da eficiência de simuladores de voo de baixa fidelidade para o  
treinamento de pilotos**

Trabalho de conclusão de curso apresentado  
no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da  
Aeronáutica.

Aprovado por:

---

**Jaqueline** de Azevedo Bruno, Maj Int  
EAOAR

---

Marcos Zeitone **Koialainski** Júnior, Cap Av  
EAOAR

Rio de Janeiro

2021

## RESUMO

A utilização de simuladores de voo é uma alternativa válida para aumentar a eficiência do treinamento de pilotos, porém os simuladores de alta fidelidade são dispositivos complexos e com elevados custos de aquisição e manutenção. Nesse contexto, esse ensaio visa demonstrar que simuladores de voo de baixa fidelidade são capazes de prover treinamento eficiente para pilotos a custos aceitáveis. Primeiramente, pode ser verificado que o aumento da fidelidade da simulação nem sempre implica em aumento da efetividade do treinamento em simulador. Este efeito ocorre porque o sucesso do treinamento em simulador também depende do nível de experiência do piloto. Pilotos com pouca experiência apresentam melhor rendimento se forem treinados em simuladores mais simples (por exemplo, com cabine estática, de baixa representatividade), o que naturalmente diminui os custos. Já o treinamento de pilotos experientes é mais eficiente quando realizado em simuladores mais sofisticados (por exemplo, cabine com movimento, idêntica à da aeronave real). Por outro lado, estudos recentes mostram que o sistema de movimento da cabine tem pouca influência sobre o treinamento de pilotos experientes. Dessa forma, é possível reduzir os custos do tipo de simulador requerido suprimindo-se este sistema, porém sem que tal redução da fidelidade de simulação comprometa a eficiência do treinamento destes pilotos. Portanto, o uso de simuladores com fidelidade mais baixa constitui uma opção econômica para a Força Aérea Brasileira (FAB), tanto para o treinamento de pilotos com pouca experiência, como para pilotos experientes.

**Palavras-chave:** Fidelidade de Simulação. Simulador de Voo. Transferência de Treinamento.

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de simuladores de voo é uma alternativa que possui menor custo de instrução que o voo na aeronave real, além de possibilitar o treinamento de emergências sem o risco inerente do voo real. Segundo Hays *et al.* (1992), o uso de simulador aliado a voos em aeronave real aumenta a eficiência do treinamento, se comparado a treinamento realizado exclusivamente na aeronave real.

Para esta discussão, é necessário definir dois conceitos: fidelidade de simulação e transferência de treinamento. A fidelidade da simulação é a capacidade do simulador de reproduzir as diversas características da aeronave real (HOCHMITZ; YUVILER-GAVISH, 2011), tais como: semelhança física com a cabine da aeronave real, amplitude do campo visual externo, resposta dinâmica aos comandos aplicados e efeitos sonoros. Por outro lado, a transferência de treinamento diz respeito ao processo de transmissão de conhecimentos e habilidades durante o treinamento (MYERS; STARR; MULLINS, 2018).

De modo a quantificar o nível de fidelidade da simulação, o órgão *Federal Aviation Administration* (FAA) classifica os simuladores em dois tipos: *Flight Training Device* (FTD), que em geral são cabines estáticas e podem não ter sistema visual externo, e *Full Flight Simulator* (FFS), que precisam ter movimento e sistema visual (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2012). Para os objetivos deste trabalho, considera-se que os FTD são simuladores de baixa fidelidade, enquanto os FFS são considerados simuladores de alta fidelidade.

Em geral, quanto maior a fidelidade da simulação, maior é o custo de aquisição e manutenção do simulador. Entretanto, uma redução na fidelidade da simulação pode ser tolerada, desde que a transferência de treinamento seja preservada. Portanto, pode-se reduzir o custo de simuladores de voo diminuindo-se a fidelidade da simulação. Dessa forma, verifica-se que há uma relação de custo-benefício entre fidelidade de simulação requerida e custo aceitável.

Nesse contexto, esse ensaio visa demonstrar que simuladores de voo de baixa fidelidade são capazes de prover treinamento eficiente para pilotos a custos aceitáveis.

Para fundamentar essa tese, serão abordados dois argumentos. O primeiro argumento defende que nem sempre um aumento na fidelidade de simulação

acarreta aumento na efetividade do treinamento. Este efeito ocorre porque o sucesso do treinamento em simulador também depende do nível de experiência do piloto. O segundo argumento diz respeito à influência do movimento da cabine do simulador na transferência de treinamento. Esta capacidade de gerar movimentos semelhantes aos da aeronave real é um dos principais fatores de aumento de custos de um simulador. No entanto, sua contribuição para a efetividade do treinamento é questionável.

Sendo assim, após a leitura desse ensaio, será possível inferir que o uso de simuladores de fidelidade mais baixa (ou seja, FTD) constitui uma opção econômica para a Força Aérea Brasileira (FAB), porém sem prejudicar a eficiência do treinamento dos pilotos.

## **2 DESENVOLVIMENTO**

Para que o ambiente de simulação seja efetivo, todo simulador deve apresentar determinado grau de similaridade com a aeronave real. Em geral, quanto maior é esta similaridade, maior é a fidelidade da simulação. Os primeiros estudos detalhados acerca de fidelidade da simulação começaram após a Segunda Guerra Mundial. Miller (1954) estabeleceu que havia uma correlação positiva entre efetividade do treinamento e fidelidade de simulação, ou seja, quanto mais fidedigno é o simulador, mais efetivo será o treinamento realizado.

Esta ideia de que um aumento da fidelidade de simulação sempre aumenta a efetividade do treinamento norteou o desenvolvimento de simuladores nas décadas seguintes. Contudo, atualmente verifica-se que um aumento na fidelidade de simulação não necessariamente acarretará melhoria do treinamento. Uma das razões para este efeito é o fato de que o resultado do treinamento em simulador também é afetado pelo próprio grau de experiência dos pilotos em treinamento (SANTOS; SILVEIRA, 2019).

### **2.1 Efeito da experiência dos pilotos em treinamento**

Cada classe de simulador é dividida conforme uma escala de grau de fidelidade de simulação. Dentre os FTD, há uma classificação de nível 4 (menor fidelidade) a

nível 7 (maior fidelidade), com diferenças significativas entre cada nível. Um FTD nível 4 é basicamente uma cabine para treinamento de procedimentos, muitas vezes com uma tela do tipo *touch screen* substituindo os botões físicos do painel e modelo de voo bastante rudimentar. Já um FTD nível 5 é representativo de uma classe de aeronaves (por exemplo, aeronave de transporte a hélice bimotor, ou aeronave de treinamento a jato monomotor), ou seja, tanto a cabine como o modelo de voo programado são genéricos. Um FTD nível 6 tem fidelidade superior, pois é representativo de um modelo específico de aeronave, enquanto o FTD nível 7 requer ainda um sistema de vibração, sendo aplicável apenas para helicópteros. Ao contrário dos FTD, todos os FFS necessariamente precisam dispor de uma cabine física idêntica à aeronave real, com algum tipo de sistema de movimento e sistema visual externo, sendo divididos em níveis A (menor fidelidade), B, C ou D (maior fidelidade). Enquanto os FFS níveis A e B possuem movimento apenas em alguns eixos, os FFS níveis C e D reproduzem rotações e translações nos três eixos. Além disso, níveis A e B possuem sistema visual noturno apenas, enquanto os níveis C e D admitem simulação durante o dia. A qualidade do modelo dinâmico da aeronave aumenta progressivamente, atingindo seu máximo no FFS nível D (FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION, 2012).

Segundo Alessi (1988), pilotos com pouca ou nenhuma experiência devem ser treinados em simuladores mais simples (por exemplo, FTD nível 4), capazes de representar apenas o comportamento básico de uma aeronave em voo. Caso sejam treinados em simuladores complexos (por exemplo, FTD nível 6-7 ou FFS), há risco de serem saturados com excesso de informações, comprometendo a transferência de treinamento. Esta discussão deixa claro que fidelidade de simulação elevada não é garantia de transferência de treinamento para os pilotos pouco experientes (SANTOS; SILVEIRA, 2019).

Por outro lado, pilotos experientes são capazes de obter elevadas taxas de transferência de treinamento em simuladores mais representativos (FTD nível 6 ou 7 ou FFS), que reproduzem fielmente o comportamento da aeronave. Caso sejam treinados em um simulador muito simples (FTD nível 4 ou 5), não representativo da aeronave real a ser voada, os pilotos experientes podem transmitir de forma equivocada para o voo real alguma habilidade adquirida no simulador, caracterizando-se uma transferência negativa de treinamento.

Dahlstrom *et al.* (2009) mostram com estudos de caso que há uma aparente desconexão entre fidelidade de simulação e sua validade como meio de treinamento. Ou seja, quando desenvolvidas de forma apropriada, até mesmo simulações com baixa fidelidade são capazes de gerar treinamento eficiente. Os autores defendem ainda que simulações com baixa fidelidade permitem que as tripulações em treinamento possam dedicar melhor sua atenção para resolver problemas, de modo a desenvolver habilidades para trabalho em equipe.

Dessa forma, é possível realizar um treinamento eficiente utilizando-se um simulador de baixa fidelidade (isto é, um FTD), especialmente para o caso de pilotos com pouca experiência (FTD nível 4). Por outro lado, é provável que pilotos experientes se beneficiem de um simulador mais sofisticado (FTD nível 6-7 ou FFS). A próxima seção traz o segundo argumento deste trabalho e visa esclarecer qual seria o grau de complexidade adicional requerido para pilotos experientes.

## 2.2 Efeito do movimento da cabine na transferência de treinamento

Outro aspecto relevante para a transferência de treinamento é a utilização de simuladores com movimento de cabine, ou seja, simuladores com *motion* (FFS). Segundo Lee (2005), *motion* é o nome comumente dado ao sistema do simulador encarregado de movimentar toda a cabine em termos de rotação e translação, buscando-se reproduzir as acelerações que seriam geradas em voo sob as mesmas condições. O sistema *motion* busca aumentar a fidelidade de simulação, porém também adiciona complexidade ao simulador e eleva substancialmente os custos associados à aquisição e manutenção.

Com o objetivo de analisar o efeito do *motion* na transferência de treinamento, vários trabalhos foram feitos comparando-se estatisticamente o desempenho de dois grupos de pilotos durante a realização de tarefas de pilotagem em simulador. Um dos grupos treinou no simulador com o *motion* ativado (equivalente a um FFS nível C ou D), enquanto o outro realizou o mesmo treinamento com a cabine em condições estáticas, ou seja, com o *motion* desligado (equivalente a um FTD nível 6 ou 7). Em seguida, ambos os grupos são avaliados ao realizar um mesmo exercício simulado com o *motion* ativado. Em um destes trabalhos, Go, Burki-Cohen

e Soja (2000) reportaram que a cabine com movimento não afetou a transferência de treinamento, em relação à mesma cabine sendo operada em condições estáticas.

Em outro estudo na mesma linha de ação, Longridge *et al.* (2001) também relataram que o *motion* não influenciou o processo de transferência de treinamento. Além disso, os autores apontaram que não há evidências científicas de que o treinamento em cabine estática acarretaria degradação do desempenho dos pilotos durante a operação da aeronave real.

Mais recentemente, Winter, Dodou e Mulder (2012) realizaram extensivos experimentos com e sem *motion*, sendo constatado que os pilotos mais experientes foram apenas minimamente afetados pela ausência de movimento da cabine. Ou seja, o treinamento em simulador sem *motion* praticamente não afetou a transferência de treinamento para o caso de pilotos experientes. Com isso, pode-se inferir que é possível reduzir consideravelmente os custos do simulador para pilotos experientes suprimindo-se o sistema de movimento da cabine, o que efetivamente reduz o FFS nível C ou D a um FTD nível 6 ou 7, porém sem comprometer a transferência de treinamento.

Ainda segundo Winter, Dodou e Mulder (2012), o *motion* pode ter alguma relevância para pilotos com pouca ou nenhuma experiência, mas os estudos não foram conclusivos. Uma das causas prováveis é o fato de que tais pilotos são suscetíveis a saturação por excesso de informações em simuladores mais complexos, conforme discutido na seção 1.1 deste ensaio.

Assim sendo, dentro do contexto da FAB, a utilização de simuladores sem *motion* (FTD nível 6 ou 7) poderá ser implementada nos esquadrões operacionais, uma vez que pilotos experientes são pouco afetados pela ausência de movimento de cabine.

### **3 CONCLUSÃO**

Simuladores de voo são alternativas válidas para aumentar a eficiência do treinamento de pilotos, porém os simuladores de alta fidelidade (FFS) são dispositivos bastante complexos e com elevados custos de aquisição e manutenção.

Este ensaio mostrou que a correlação positiva entre fidelidade de simulação e transferência de treinamento por vezes não é observada na realidade. Em outras

palavras, nem sempre um incremento na fidelidade de simulação leva a um aumento na efetividade do treinamento. Foi constatado que isso ocorre porque a própria experiência do piloto em treinamento também afeta o seu desempenho no simulador. Como consequência, atestou-se que simuladores de baixa fidelidade (FTD) são mais indicados para o treinamento de pilotos com pouca experiência de voo. Especificamente, deve-se realizar o treinamento inicial destes pilotos em FTD nível 4, de modo a evitar saturação por excesso de informações dos níveis 6 e 7.

Foi evidenciado também que o sistema *motion* de movimento da cabine adiciona complexidade e custo ao simulador, porém tem pouca influência sobre o desempenho de pilotos experientes. Por este motivo, ficou claro que este sistema pode ser suprimido do simulador para reduzir custos de aquisição e manutenção do simulador, mas sem que isso afete a transferência de treinamento. Ou seja, em vez de realizar o treinamento em FFS nível C ou D, pilotos experientes podem ser treinados em simuladores de fidelidade comparativamente mais baixa (FTD nível 6 ou 7).

Diante do exposto, o presente ensaio deixou claro que simuladores de voo de baixa fidelidade (FTD) são capazes de prover treinamento eficiente para pilotos a custos aceitáveis.

Os resultados deste ensaio permitiram constatar que será vantajoso para a FAB utilizar simuladores de baixo custo (FTD nível 4) para instrução de pilotos com pouca experiência de voo, tais como os pilotos em formação na Academia da Força Aérea (AFA), de forma a substituir parte do treinamento que atualmente é feito com voos na aeronave real, porém sem comprometer a transferência de treinamento para os cadetes.

Além disso, os resultados do ensaio também atestam as vantagens da instalação de simuladores de baixa fidelidade, sem *motion* (FTD nível 6 ou 7), nos esquadrões operacionais da FAB, para fins de treinamento e manutenção operacional de pilotos experientes. Isso acarretará economia em termos de horas de voo de treinamento de tripulações em aeronave real, bem como evitará gastos com deslocamento para utilizar simuladores mais complexos, do tipo FFS, que estão disponíveis apenas em algumas localidades do país.

## REFERÊNCIAS

- ALESSI, S. Fidelity in the design of instructional simulations. **Journal of Computer-Based Instruction**, v. 15, n. 2, p. 40-47, 1988.
- DAHLSTROM, N. *et al.* Fidelity and validity of simulator training. **Theoretical Issues in Ergonomics Science**, v. 10, n. 4, p. 305-314, 2009. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/50917189\\_Fidelity\\_and\\_validity\\_of\\_simulator\\_training](https://www.researchgate.net/publication/50917189_Fidelity_and_validity_of_simulator_training). Acesso em: 30 ago. 2020.
- FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **14 CFR Part 60: Flight Simulation Training Devices Initial and Continuing Qualification and Use**, 2012. Disponível em: <https://ecfr.federalregister.gov/current/title-14/chapter-I/subchapter-D/part-60>. Acesso em: 17 fev. 2021.
- GO, T.; BURKI-COHEN, J.; SOJA, N. The effect of simulator motion on pilot training and evaluation. In: MODELING AND SIMULATION TECHNOLOGIES CONFERENCE, 2000, Denver, Colorado. **Anais [...]**. Reston, Virginia: AIAA, 2000. p. 4296. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.32.8599&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 01 set. 2020.
- HAYS, R.; JACOBS, J.; PRINCE, C.; SALAS, E. Flight simulator training effectiveness: A meta-analysis. **Military Psychology**, v. 4, n. 2, p. 63-74, 1992.
- HOCHMITZ, I.; YUVILER-GAVISH, N. Physical fidelity versus cognitive fidelity training in procedural skills acquisition. **Human Factors**, v. 53, n. 5, p. 489-501, 2011.
- LEE, A. **Flight Simulation: Virtual Environments in Aviation**. Aldershot, Inglaterra: Ashgate Publishing Company, 2005. 137 p.
- LONGRIDGE, T. *et al.* Simulator fidelity considerations for training and evaluation of today's airline pilots. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AVIATION PSYCHOLOGY, 11, 2001, Columbus, Ohio. **Anais eletrônicos [...]**. European Association for Aviation Psychology (EAAP), 2001. Disponível em: [https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/9963/dot\\_9963\\_DS1.pdf?](https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/9963/dot_9963_DS1.pdf?). Acesso em: 02 set. 2020.
- MILLER, R. **Psychological Considerations in the Design of Training Equipment**. Springfield, Ohio: American Institute for Research, 1954. 151 p. (Relatório Técnico WADC TR 54-563).
- MYERS III, P.; STARR, A.; MULLINS, K. Flight simulator fidelity, training transfer, and the role of instructors in optimizing learning. **International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace**, v. 5, n. 1, p. 6, 2018. Disponível em: <https://commons.erau.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1203&context=ijaaa>. Acesso em: 10 set. 2020.

SANTOS, V. C.; SILVEIRA, G. A. A efetividade dos simuladores de voo no treinamento de pilotos para tarefas processuais específicas e aquisição de habilidades. **Revista Conexão SIPAER**, v. 10, n. 1, p. 15-30, 2019. Disponível em: <http://conexaosipaer.cenipa.gov.br/index.php/sipaer/article/viewFile/603/453>. Acesso em: 31 ago. 2020.

WINTER, J.; DODOU, D.; MULDER, M. Training effectiveness of whole-body flight simulator motion: A comprehensive meta-analysis. **The International Journal of Aviation Psychology**, vol. 22, n. 2, p. 164-183, 2012. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/233067678\\_Training\\_Effectiveness\\_of\\_Whole\\_Body\\_Flight\\_Simulator\\_Motion\\_A\\_Comprehensive\\_Meta-Analysis](https://www.researchgate.net/publication/233067678_Training_Effectiveness_of_Whole_Body_Flight_Simulator_Motion_A_Comprehensive_Meta-Analysis). Acesso em: 15 set. 2020.