



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2024

BRUNO **CÂNDIDO** DE PAULA, Cap Av

**Aplicação da simulação em campanhas de ensaios em voo**

Rio de Janeiro  
2024

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2024

BRUNO **CÂNDIDO** DE PAULA, Cap Av

**Aplicação da simulação em campanhas de ensaios em voo**

Trabalho de conclusão de curso apresentado no Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Ciência, Tecnologia e Inovação

Orientador: Daniel Rodrigues Figueiredo, Maj Av

Rio de Janeiro

2024

BRUNO **CÂNDIDO** DE PAULA, Cap Av

**Aplicação da simulação em campanhas de ensaios em voo**

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

Aprovado por:

---

Daniel Rodrigues **Figueiredo**, Maj Av  
EAOAR

---

**Mellina** dos Santos Ferreira Barbosa, Maj Int  
EAOAR

Rio de Janeiro

2024

## RESUMO

A Força Aérea Brasileira (FAB) tem buscado, nas últimas décadas, modernizar sua frota de helicópteros, sendo etapa desse projeto a verificação de cumprimento de requisitos contratuais. No que se refere às demandas operacionais, o Instituto de Pesquisas e Ensaio em Voo (IPEV) é o responsável por prestar esse assessoramento ao Alto Comando, prezando pela segurança e economicidade. Para tal, são programadas campanhas de testes que avaliam as potencialidades da máquina e, pela natureza da atividade, incorrem em um maior risco de acidentes. Desta feita, é necessária uma eficiente gestão de segurança e recursos no processo. Para isso, o IPEV conta com um Simulador de Estabilidade Variável (SEV) usado no adestramento das equipagens de ensaio. Assim, defende-se que avaliar as QDP dos modelos de helicópteros da FAB no SEV otimiza a gestão de recursos e de segurança em campanhas de ensaio de alto risco de aeronaves de asas rotativas. O SEV possibilita à tripulação registrar comportamentos e respostas da aeronave em diversas condições de ensaio com o mínimo dispêndio de recursos. Além disso, viabiliza simular situações críticas do voo em ambiente seguro e capacitar as tripulações para eventuais emergências. Portanto, fazer uso do SEV possibilita ao IPEV prestar o devido assessoramento, de uma maneira ótima em termos de segurança e meios, ao mesmo tempo que garante à FAB a certeza de que pode explorar o máximo dos meios adquiridos, contribuindo para a distinção da Força por sua capacidade operacional de emprego.

**Palavras-chave:** Asas rotativas. Ensaio em voo. Segurança de voo. Simulador.

## 1 ENSAIO EM VOO DE HELICÓPTEROS

Em 2010, a Força Aérea Brasileira (FAB) recebeu a primeira unidade do H-36 (Caracal), detentor de uma capacidade até então inédita para aeronaves de asas rotativas no país, que era a de realizar reabastecimento em voo (REVO). Em 2024, ocorrerá o recebimento do primeiro H-125, novo vetor a ser empregado pelo Esquadrão Gavião na formação dos pilotos de helicóptero da Força. Esses eventos integram contratos de aquisição com diversos requisitos operacionais, que precisam ter seu cumprimento atestado pelo Comando da Aeronáutica.

Para realizar essas verificações de aceitação, existe o Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV), responsável por planejar e executar os testes feitos no processo, bem como por analisar seus resultados. Tais avaliações, por vezes, envolvem tarefas de alto risco, como atingir limites de uma máquina desconhecida, caso do H-125, ou criar uma nova doutrina de emprego, como o REVO do H-36. Sendo assim, campanhas de ensaio desse vulto precisam de gestão adequada de recursos e de segurança, para alcançar os objetivos solicitados pelo Alto Comando.

O IPEV não tem helicóptero próprio para treinamento das suas equipagens, mas detém o Simulador de Estabilidade Variável (SEV) capaz de reproduzir o voo de qualquer projeto, contanto que esteja instalado nele o modelo que representa a dinâmica de voo da aeronave desejada. Assim, é possível, com o simulador, adestrar as tripulações para ensaios de qualidades de pilotagem (QDP) e obter dados dos projetos analisados. Nesse contexto, avaliar as QDP dos modelos de helicópteros da FAB no SEV otimiza a gestão de recursos e de segurança em campanhas de ensaio de alto risco de aeronaves de asas rotativas.

O SEV registra comportamentos e respostas dos helicópteros anteriormente ao voo, nas condições desejadas para as verificações. Essas informações norteiam os ensaios e são comparadas com os dados reais, conforme os voos ocorrem. Essa comparação suporta a decisão do gerente de validar ou replanejar os testes durante a campanha, o que otimiza o aproveitamento das horas de voo disponibilizadas.

Outrossim, o SEV permite mapear e analisar os riscos em ambiente simulado previamente ao ensaio, e julgar seu efetivo impacto sobre o voo, ainda em solo. Também, na simulação podem ser identificados perigos latentes. Desse modo, é possível propor e avaliar a efetividade de procedimentos e limites que mitigam o risco real do teste, contribuindo para a segurança do voo.

## 2 RECURSOS E RISCOS EM ENSAIOS EM VOO

De acordo com Cooke e Fitzpatrick (2002), ensaio em voo é uma atividade aérea cara e com níveis de risco naturalmente superiores aos de operações normais. Em decorrência desse risco diferenciado, este tipo de voo requer da tripulação intenso planejamento para definir as técnicas que serão empregadas, qual a instrumentação necessária, quais as condições ambientais mínimas para realização, quais os resultados esperados e quais os riscos envolvidos.

### 2.1 O SEV na gestão de recursos

No cenário atual, os recursos disponibilizados para o suporte ao voo na FAB são, em média, 57% inferiores aos necessários (Gulmine, 2024). Sendo assim, ao receber uma solicitação de estudo de adequabilidade de um helicóptero para determinada atividade, é importante definir bem o que se deve executar e como, de forma a aproveitar ao máximo as horas de voo disponibilizadas. Por isso, conforme corrobora Padfield (2007), uma campanha de ensaio precisa de um planejamento criterioso, sendo uma das prioridades a economia de recursos.

Nesse contexto, na avaliação proposta, é primordial a análise das QDP da aeronave, pois é o que vai permitir determinar se ela é ou não adequada para executar determinada atividade. Segundo Cooper e Harper (1986), as QDP caracterizam com que facilidade e precisão o piloto é capaz de fazer a aeronave desempenhar tarefas que suportam a sua missão fim.

Nesses ensaios, sabe-se que a carga de trabalho de pilotagem e o desempenho do helicóptero na execução de uma tarefa podem variar se mudam as condições ambientais como temperatura, altitude, tipo de pista e vento (Sampaio, 2022). Logo, a obtenção de resultados mais completos depende da realização de testes em diferentes localidades, aumentando os custos da campanha.

Sem sair de sede, o SEV viabiliza que sejam simuladas as condições de voo que se queira, possibilitando comparar diferentes situações e determinar quais as mais significativas sobre os resultados efetivamente. Logo, reduz-se a necessidade de ensaiar em vários cenários, o que economiza recursos logísticos e financeiros.

Retomando a necessidade de se definir o que realizar no ensaio, a especificação *Aeronautical Design Standard - 33 (ADS-33)* é uma publicação emitida

pelo Exército dos Estados Unidos, que é amplamente empregada pela FAB na formulação de requisitos operacionais para aeronaves de asas rotativas. Essa documentação contém parâmetros que visam a garantir que, dentre outras coisas, limites de capacidade operacional não sejam infringidos por deficiências de qualidade de pilotagem (U. S. Army, 2000). Assim, nesta norma, são propostas tarefas de QDP que objetivam verificar a adequabilidade da aeronave para missões que variam do ataque e escolta até o transporte utilitário e de carga.

O IPEV não tem um helicóptero próprio em que as equipagens possam treinar essas tarefas. Então, para manter o adestramento, é preciso deslocar uma tripulação ou trazer uma aeronave para São José dos Campos - SP, tornando-a indisponível para a sua Unidade de origem. Nesse sentido, o SEV possibilita treinar o voo de QDP quantas vezes forem necessárias para melhor adaptação dos pilotos às características de pilotagem das aeronaves implementadas, sem consumir horas de voo e sem desfalcicar qualquer esquadrão.

Não obstante, com o ferramental prático da simulação, têm-se mais dados para selecionar os exercícios da ADS-33 mais pertinentes ao cumprimento dos objetivos da campanha e que possibilitam extrair mais informações do projeto. Outrossim, pode-se modelar tarefas completamente novas e avaliar sua eficácia, antes do voo.

Um exemplo real disso foi o desenvolvimento de uma nova técnica de ensaio de reabastecimento em voo de helicópteros, aplicada no REVO do H-36 pela aeronave KC-130 (Hércules). Na etapa de planejamento, pilotos e engenheiros praticaram no SEV a dinâmica da manobra de reabastecimento, adquirindo consciência do nível de coordenação de cabine necessário e definindo as técnicas de pilotagem mais apropriadas para aplicação (Santos, 2020).

Os custos relativos ao SEV nos treinamentos para essa missão se limitaram ao consumo de energia elétrica para a operação dos computadores, telas e comandos de voo. Caso a preparação fosse feita no simulador da HELIBRAS, localizado no Rio de Janeiro – RJ, além dos gastos com diárias e transporte, cada hora de voo simulada custaria próximo de R\$10.000,00 (Centro de Logística da Aeronáutica, 2021).

Portanto, o uso do SEV na fase de preparação para uma campanha de ensaio de helicópteros, especialmente em avaliações de QDP, viabiliza a aplicação ótima dos recursos disponibilizados. Ademais, o simulador possibilita às equipagens

treinarem e se prepararem para os testes, suprimindo a ausência de uma aeronave orgânica. Desse modo, os custos logísticos, especialmente das horas de voo alocadas, são otimizados na persecução do melhor assessoramento ao solicitante.

## 2.2 O SEV na gestão de segurança

Na atividade de ensaio em voo, a segurança é primordial pois garante a proteção de recursos humanos e financeiros, além de evitar atrasos indesejáveis decorrentes de um acidente em um processo de recebimento, desenvolvimento ou certificação (McAteer; Rice; Gavin, 2018). Kinney e Wiruth (1976) apresentam uma máxima afirmando que os perigos da vida são inevitáveis e seus riscos associados não podem ser eliminados. Logo, se a eliminação é inviável, é preciso pelo menos reduzir o risco para aumentar a segurança.

Como citado anteriormente, a atividade de ensaio em voo é inerentemente mais arriscada que uma operação normal. Essa diferenciação ocorre porque em um voo de teste a máquina e os tripulantes são expostos a situações atípicas e estressantes, como no voo de certificação de uma nova capacidade. Um exemplo real dessa situação foi o lançamento inédito do míssil AM39B2M2 Exocet a partir do helicóptero H-225M da Marinha do Brasil, realizado pelo IPEV. Face a essas particularidades, em uma campanha, se faz necessário um processo eficiente de mapeamento e análise dos perigos presentes.

Nesse contexto, o SEV é uma ferramenta bastante útil porque permite à equipe de ensaio simular a ocorrência de um fator de risco e mensurar o impacto do evento sobre o voo ou a missão. Ainda por meio da simulação, é possível avaliar analiticamente a efetividade de algumas das ações mitigadoras de risco propostas, bem como a dos procedimentos de emergência adotados.

Um exemplo de aplicação prática dessa metodologia aconteceu na campanha de REVO do H-36, quando, na fase de preparação para o voo, os pilotos treinaram no SEV as ações de emergência específicas da manobra. Essa foi uma das ações efetuadas para reduzir o risco da campanha, ao prover preparo para situações críticas, diminuindo o impacto de um susto.

Essa surpresa provocada por uma emergência aumenta a carga de trabalho mental do piloto, dificultando a tomada de decisões (Martin; Murray; Bates, 2012 *apud* Vilela, 2023). Um levantamento de acidentes com helicópteros de 2010 a 2021

apontou que de um total de 232 eventos, em 89 o julgamento de pilotagem e em 43 o processo decisório foram fatores contribuintes (Cruz, 2022).

Em um ensaio de helicóptero para avaliação de QDP, a carga de trabalho pode atingir níveis que impeçam ao piloto dedicar atenção a tarefas adicionais. Assim, nesse cenário, a ocorrência de uma emergência para a qual o tripulante não estivesse preparado seria mais um fator de estresse a deteriorar sua capacidade decisória, podendo ensejar uma resposta errada à situação. Logo, o preparo proporcionado pelo SEV é uma ferramenta de aprimoramento da adaptabilidade das equipagens, o que reduz as chances de um evento catastrófico.

Ainda nessa linha de raciocínio, entre 1990 e 2000, em 70% dos acidentes aeronáuticos ocorridos nos Estados Unidos houve erro ou violações, e em 80% desses casos os erros eram relacionados à pilotagem ou falta de conhecimento (Wiegmann et al., 2005 *apud* Scarpari, 2021). Assim, especialmente em um ensaio de QDP, é de fundamental importância que o piloto e o engenheiro tenham completo entendimento do sistema de comandos de voo da aeronave e dos demais sistemas que integram a malha de controle, como os de aumento de estabilidade e do piloto automático.

O SEV detém um sistema de comandos de voo que pode ser configurado para simular forças compatíveis com as do voo real sobre o cíclico (correspondente ao manche do avião em helicópteros) e o coletivo (comando de potência). Mas além disso, o simulador proporciona a facilidade de alterar as características de estabilidade desses comandos, sendo possível replicar falhas que representem situações de perda parcial ou total dos sistemas de aumento de estabilidade.

Assim, é possível analisar a atuação dos comandos de voo em estado anormal e registrar se há alguma alteração de controlabilidade e/ou da carga de trabalho do pilotagem. Deste modo, pode-se avaliar, tecnicamente, quais condições são toleráveis para manter fora de perigo tripulantes e máquina.

Diante do exposto, o SEV é uma ferramenta que viabiliza conhecer as condições críticas do ensaio de maneira prática. Deste modo, em consonância com os fundamentos da gestão de risco do Comando de Preparo (COMPREP), com ele é possível definir adequados níveis de exposição a risco, o que aumenta a segurança do voo real, e subsidia a tomada de decisão da autoridade responsável pela campanha (BRASIL, 2020).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas últimas décadas, a Força Aérea Brasileira tem modernizado a sua frota de aeronaves de asas rotativas, adquirindo novas capacidades operacionais, como o reabastecimento em voo de helicópteros. Todavia, antes da aceitação final dos projetos, é importante certificar que todos os requisitos contratuais sejam cumpridos, havendo, por vezes, a necessidade de ensaios em voo para isso.

Na FAB, o IPEV é o responsável por realizar esses testes, sendo que em muitas dessas avaliações o risco de acidentes é superior ao das operações normais, por explorarem ao máximo a capacidade dos projetos, levando as aeronaves literalmente até seus limites. Somando a isso as limitações orçamentárias da Força, é crucial que no processo haja uma gestão de segurança e recursos eficiente.

O Instituto tem um Simulador de Estabilidade Variável que possibilita o treinamento das tripulações, especialmente nas verificações de qualidades de pilotagem. Nesse contexto, avaliar as QDP dos modelos de helicópteros da FAB no SEV otimiza a gestão de recursos e de segurança em campanhas de ensaio de alto risco de aeronaves de asas rotativas.

Primeiro, porque o uso do SEV permite à equipagem de ensaio explorar todo o envelope de voo do helicóptero, em diversas condições de interesse, sem custos com viagens e horas de voo. Além disso, o simulador propicia, ainda no planejamento, a aquisição de conhecimentos que permitem o melhor sequenciamento dos ensaios, otimizando o emprego dos meios disponibilizados.

Segundo, porque o SEV viabiliza simular as potenciais condições de risco dos testes e analisar a severidade de cada uma. Dessas observações, a equipagem de ensaio pode propor ações mitigadoras e avaliar a efetividade delas tecnicamente, antes do voo. Além disso, podem ser praticados estes procedimentos, que minimizam a gravidade da emergência.

Logo, o uso do SEV permite ao IPEV atender às demandas do Alto Comando da FAB por assessoramento na aquisição de novas aeronaves com segurança e economicidade. Não obstante, da gama de informações extraídas dos testes viabilizados pela simulação, com aquelas outras obtidas em voo, a FAB tem a garantia de que os vetores adquiridos de fato entregam o máximo de suas potencialidades. Dessa forma, corrobora-se para a construção de uma moderna Força Aérea, que se destaca por sua elevada capacidade operacional de emprego.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Comando da Aeronáutica. Comando de Preparo. Portaria COMPREP nº 139/COMPREP, de 11 de maio de 2021. Aprova a reedição da ICA 16-3 que dispõe sobre orientações para a elaboração da Gestão de Riscos no Comando de Preparo. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 94, f. 5983, 21 maio 2021.
- CENTRO DE LOGÍSTICA DA AERONÁUTICA. Segundo Termo Aditivo ao Contrato Administrativo Nº 264/CAE-COMPREP/2021, entre a União, por intermédio do Comando de Preparo, e a empresa Helicópteros do Brasil S/A. Brasília, 2021.
- COOKE, A. K.; FITZPATRICK, E. W. H. **Helicopter test and evaluation**. 1. ed. [S.l.]: Blackwell Science, 2002.
- CRUZ, R. V. Segurança de Voo em Helicópteros. *In: CURSO DE ENSAIOS EM VOO – MODALIDADE ASAS ROTATIVAS*, 32., 2022, São José dos Campos. **Apresentação em Power Point** [...]. São José dos Campos: [s.n.], 2022.
- GULMINE, E. A. Sistemática de Planejamento e Gestão Institucional da Aeronáutica (SPGIA). *In: CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA*, 1., 2024, Rio de Janeiro. **Apresentação em Power Point** [...]. Rio de Janeiro: [s.n.], 2024.
- HARPER JR, R. P.; COOPER, G. E. Handling qualities and pilot evaluation. **Journal of Guidance, Control, and Dynamics**, Reston, v. 9, n. 5, p. 515-529, set. 1986.
- KINNEY, G. F.; WIRUTH, A. D. **Practical risk analysis for safety management**. China Lake: Naval Weapons Center, 1976.
- MCATEER, T.; RICE, C.; GAVIN, C. Flight test safety - The US Navy approach. *In: IEEE AEROSPACE CONFERENCE*, 2018, Big Sky. **Proceedings** [...]. Big Sky: IEEE, 2018. p. 1-7.
- PADFIELD, G. D. **Helicopter flight dynamics: the theory and application of flying qualities and simulation modelling**. 2. ed. Washington DC: Blackwell Publishing, 2007.
- SAMPAIO, R. S. Qualidades de Pilotagem (QDP): teoria. *In: CURSO DE ENSAIOS EM VOO – MODALIDADE ASAS ROTATIVAS*, 32., 2022, São José dos Campos. **Apostila** [...]. São José dos Campos: [s.n.], 2022.
- SANTOS, L. FAB conclui campanha de reabastecimento em voo de helicópteros. **Força Aérea Brasileira**, [S.l.], 06 nov. 2020. Disponível em: <https://encurtador.com.br/wyRT6>. Acesso em: 05 abr. 2024.
- SCARPARI, J. R. S. **Autorrotação: o diagrama ISO-WORKLOAD**. 2021. Tese (Doutorado em Ciências) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2021.

U. S. ARMY. **Aeronautical Design Standard Performance Specification: handling qualities requirements for military rotorcraft.** Redstone Arsenal: [s.n.], 2000.

VILELA, G.F. **A influência do treinamento em simulador de voo no âmbito do gerenciamento de emergências.** 2023. Monografia (Graduação em Ciências Aeronáuticas) – Escola Politécnica e de Artes, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2023.