



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2023

**THIAGO HENRIQUE DA COSTA CAMARGO**, Cap Av

**Simulador de ensaios em voo:** uma importante ferramenta para as campanhas de ensaios em voo do IPEV

Rio de Janeiro

2023

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1/2023

**THIAGO HENRIQUE DA COSTA CAMARGO, Cap Av**

**Simulador de ensaios em voo:** uma importante ferramenta para as campanhas de ensaios em voo do IPEV

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

Orientadora: Robertha Lima Souza Da Silva, Cap Av

Rio de Janeiro

2023

**THIAGO HENRIQUE DA COSTA CAMARGO, Cap Av**

**Simulador de ensaios em voo:** uma importante ferramenta para as campanhas de ensaios em voo do IPEV

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

Aprovado por:

---

Thiago Diorgilis Ribeiro **Daniel**, Ten Cel Av  
EAOAR

---

**Robertha** Lima Souza da Silva, Cap Av  
EAOAR

Rio de Janeiro

2023

## RESUMO

O Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV) dispõe de um Simulador de Ensaios em Voo (SEV) capaz de simular diferentes tipos de aeronaves a partir do carregamento de modelos de simulação. Entretanto, alguns contratos de aquisição de aeronaves da Força Aérea Brasileira (FAB) não preveem a aquisição dos modelos de simulação do projeto, tornando inviável a utilização do SEV por parte dos pilotos e engenheiros em ensaios futuros nestes projetos. Assim, este trabalho defende a inclusão de dados de modelos de simulação nos contratos de aquisição das aeronaves da FAB como requisito fundamental para aprimorar as atividades de ensaios em voo do IPEV. Nesse sentido, a utilização do SEV com os modelos das aeronaves operadas pela FAB possibilita melhoria na preparação, tanto das equipagens quanto das campanhas de ensaios, auxiliando na identificação e mitigação de riscos, proporcionando voos de ensaio mais seguros. Ainda, permite reduzir os custos logísticos das campanhas de ensaios do IPEV por meio da redução dos custos com horas de voo, bem como dos danos materiais resultantes de acidentes e incidentes. A aquisição dos modelos de simulação das aeronaves operadas pela FAB poderá beneficiar também os Esquadrões Aéreos no adestramento de seus tripulantes para missões operacionais, inclusive no desenvolvimento das capacidades dos modernos vetores F-39 *Gripen*, KC-390 *Millennium* e KC-30, contribuindo para que a Força Aérea Brasileira se mantenha projetada internacionalmente como uma Força com capacidade dissuasória, operacionalmente moderna e que atua de forma integrada para a defesa dos interesses nacionais.

**Palavras-chave:** Simuladores. Ensaios em Voo. Segurança de Voo. Custos Logísticos.

## 1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos a Força Aérea Brasileira (FAB) vem modernizando a sua frota de aeronaves de forma a expandir a sua capacidade operacional, de controle e de defesa do espaço aéreo brasileiro, projetando-se internacionalmente como uma Força Aérea que emprega tecnologias de ponta e cuja visão é ser “Uma Força Aérea de grande capacidade dissuasória, operacionalmente moderna e atuando de forma integrada para a defesa dos interesses nacionais” (BRASIL, 2018, p. 137).

Alinhada a essa visão, compete ao Instituto de Pesquisas e Ensaios em Voo (IPEV) a missão de realizar ensaios em voo em apoio às necessidades da FAB, além de formar pessoal especializado por meio do Curso de Ensaios em Voo (CEV). Como forma de auxiliar no desempenho de sua missão, o IPEV dispõe de um Simulador de Ensaios em Voo (SEV) capaz de simular diferentes tipos de aeronaves a partir do carregamento dos respectivos modelos de simulação fornecidos pelos fabricantes. Entretanto, alguns contratos de aquisição de aeronaves da FAB não preveem a aquisição dos dados de modelos de simulação do projeto junto ao fabricante, o que torna inviável a utilização do SEV por parte dos pilotos e engenheiros em ensaios futuros nestes projetos.

Nesse sentido, este ensaio defende a inclusão de dados de modelos de simulação nos contratos de aquisição das aeronaves da FAB como requisito fundamental para aprimorar as atividades de ensaios em voo do IPEV.

Para tal, a utilização do SEV com os modelos das aeronaves operadas pela FAB possibilitaria melhoria na preparação, tanto das equipagens quanto das campanhas de ensaios, auxiliando na identificação e mitigação de riscos e contribuindo para a segurança de voo.

Ainda, o simulador integrado aos modelos das aeronaves operadas pela FAB permitiria reduzir os custos logísticos das campanhas de ensaios do IPEV por meio da redução dos custos com horas de voo, bem como danos materiais resultantes de acidentes e incidentes nas atividades de ensaios em voo.

## 2 DESENVOLVIMENTO

## 2.1 O Simulador de Ensaios em Voo como ferramenta de segurança de voo nas campanhas do IPEV

De acordo com Uehara e Silva (2017), seguindo a tendência mundial, em 2017, o IPEV passou a contar com o Simulador de Ensaios em Voo em tempo real que se trata de um sistema inteiramente modular e flexível, que permite a inserção de modelos matemáticos da dinâmica de qualquer tipo de aeronave, contando inclusive com sistemas de comando de voo do tipo *force feedback* capazes de reproduzir as cargas aerodinâmicas provenientes das superfícies de controle da aeronave.

Além disso, a própria cabine de pilotagem do SEV pode ser prontamente reconfigurada em relação aos seus controles e telas que exibem os dados do voo, permitindo a simulação não somente de aeronaves de asa fixa, mas também de aeronaves de asas rotativas.

Por se tratar de um simulador de engenharia, o SEV possibilita ao IPEV reproduzir características aerodinâmicas, propulsivas, de qualidades de voo e de sistemas embarcados. Com isso, é possível validar antes dos voos experimentais a análise de risco confeccionada pelos envolvidos na campanha, além de identificar novas condições latentes não observadas anteriormente e assim aumentar a segurança dos voos nas campanhas.

Para Hines (2000), os simuladores pilotados são ferramentas especialmente úteis para o planejamento, execução das manobras e definição dos limites das aeronaves com capacidades em desenvolvimento, além da investigação de possíveis anormalidades em voo, de forma que a sua utilização sistemática proporciona melhoria na preparação, tanto dos tripulantes quanto da própria campanha de ensaio, com voos cada vez mais seguros. Ainda, Hines (2000) afirma que se pode evidenciar uma relação direta entre a utilização dos simuladores de voo nas campanhas de ensaios e a diminuição dos acidentes e incidentes.

Os simuladores de voo oferecem uma vantagem significativa na segurança dos voos de ensaio ao permitir que os pilotos e engenheiros compreendam as características das aeronaves antes do voo real. Assim, “a simulação permite que o envelope de voo seja investigado e compreendido antes dos voos de teste” (HINES, 2000, p. 4). Dessa forma, a integração dos modelos da aeronave ao SEV possibilita um treinamento mais específico para as necessidades dos ensaios e um

planejamento mais minucioso acerca das condições a serem exploradas nos voos experimentais.

A fim de exemplificar a melhoria na preparação dos tripulantes e da campanha, bem como o aumento da segurança nos ensaios proporcionados pelo SEV, recentemente o IPEV realizou a primeira fase de uma campanha de reabastecimento em voo de helicópteros com a aeronave H-36 Caracal. A partir da utilização do SEV com o modelo de simulação da aeronave H-36 integrado foi possível definir as metodologias de avaliação aplicáveis, os parâmetros a serem coletados e a sequência de testes mais segura.

Da mesma forma, o simulador possibilitou o treinamento psicomotor, tanto de pilotos do IPEV quanto do Terceiro Esquadrão do Oitavo Grupo de Aviação (3º/8º GAV), e de coordenação de cabine dos tripulantes para uma tarefa com elevado risco envolvido e que exigia grande precisão de pilotagem. Ainda, permitiu o treinamento em situações degradadas de qualidades de voo do H-36, que poderiam ser encontradas no voo real em caso de pane do sistema de aumento de estabilidade da aeronave.

Destaca-se ainda que o SEV foi essencial para o planejamento e preparação da campanha supracitada, visto que foi a primeira vez que pilotos de asas rotativas da FAB realizaram operação de reabastecimento em voo com helicóptero. Dessa forma, Cooke e Fitzpatrick (2002) reforçam que o treinamento em simulador para equipagens de ensaio é vital para se mitigar os riscos em qualquer programa de ensaio, em especial nos relacionados ao desconhecimento das características de novas aeronaves e de novos tipos de operação.

Assim, o Simulador de Ensaios em Voo integrado ao modelo de simulação da aeronave possibilita aprimorar a preparação dos tripulantes e da campanha de ensaio, antes dos voos experimentais, proporcionando maior conhecimento acerca das características das novas aeronaves e dos novos tipos de operação e dessa forma contribui para o aprimoramento das atividades de ensaios em voo do IPEV.

## **2.2 Redução de custos logísticos nas atividades de ensaios em voo**

Uma Força Aérea que dispõe das capacidades de ensaios em voo tem a seu favor diversas vantagens como a possibilidade de certificar e integrar novos sistemas e armamentos, avaliar aeronaves e sistemas nos processos de aquisição, propor

melhorias na operação de sistemas embarcados, além de contribuir para o aumento seguro das capacidades operacionais dos vetores aéreos. Porém a manutenção dessas capacidades envolve custos logísticos que podem variar de acordo com o cenário de ensaio proposto e os projetos aeronáuticos envolvidos.

Segundo afirma De Mendonça *et al.* (2013), atualmente existe uma tendência, por razões de custo, de se evitar campanhas de ensaios apenas com os voos de teste, de forma que as ferramentas de simulação, na maioria dos casos, são consideradas mandatórias. O uso imperioso da simulação nas campanhas de ensaios em voo se justifica tanto pela otimização do esforço aéreo que ela proporciona, quanto para se evitar custos logísticos oriundos de acidentes e incidentes.

Assim, a fim de acompanhar essa tendência de redução de custos, o SEV contribui para maior eficiência das atividades de ensaios em voo, a partir da sua integração aos modelos de simulação das aeronaves adquiridas pela FAB, pois permite a realização dos voos das campanhas de ensaios do IPEV demandando menor consumo de esforço aéreo, haja vista que determinados voos das campanhas podem ser substituídos por seções de simulador sem que haja prejuízo nos resultados.

Para exemplificar a redução de custos relacionados às horas de voo, o IPEV realizou, em 2022, a primeira fase da campanha de reabastecimento em voo da aeronave SC-105 Amazonas no KC-130 Hércules, na qual não se dispunha dos modelos de simulação da aeronave recebedora SC-105 para integração ao SEV.

Percebeu-se durante a fase de preparação da campanha a necessidade de prover maior treinamento aos pilotos de ensaios, envolvendo uma formação básica na aeronave, a fim de compensar a falta de treinamento que o SEV integrado aos modelos do SC-105 proporcionaria. Tal compensação, invariavelmente, envolveu maiores custos logísticos.

Ainda, foi necessária a realização de uma abordagem que previa uma maior quantidade de avaliações a fim de se conhecer a compatibilidade dos desempenhos das aeronaves envolvidas, em termos de altitude e velocidade, para esse tipo de missão, além do comportamento da aeronave recebedora na esteira de turbulência do KC-130. Destaca-se que a adoção do método com tais avaliações complementares demandou maior esforço aéreo para os projetos envolvidos, o que implicou necessariamente em maior custo logístico para a campanha pelo consumo de esforço aéreos das aeronaves envolvidas, a saber: SC-105, KC-130 e A-29.

Considerando que o custo logístico envolvido nas avaliações complementares destacadas anteriormente, envolvendo os três projetos, é da ordem de centenas de milhares de reais, de acordo com a tabela de custo logístico (BRASIL, 2022), e levando em conta a atual tendência de redução na quantidade de horas de voo alocadas para os Esquadrões Aéreos da FAB, fica evidente que a utilização do Simulador de Ensaio em Voo nas campanhas, além de proporcionar a redução dos custos logísticos, permite que parte das horas de voo alocadas nas atividades de ensaios sejam revertidas para o treinamento dos pilotos operacionais em suas missões. Todavia, para que se possa observar essa transferência das horas de voo em favor do treinamento dos pilotos operacionais, é necessário que os dados de modelos de simulação sejam incluídos nos contratos de aquisição de aeronaves da FAB.

De forma a corroborar o exemplo supracitado, podemos afirmar que “ensaios em voo que são suportados com dados de simulação levariam a várias soluções, como simular uma matriz múltipla de pontos de teste e, em seguida, voar apenas nas piores condições” (DE MENDONÇA *et al.*, 2013, p. 179), ou seja, o simulador integrado aos modelos de interesse permite a redução da quantidade de testes que serão realizados em voo. Assim, os tripulantes têm condições de realizar as avaliações voltadas a investigação do comportamento da aeronave na condição desconhecida ainda em solo, reduzindo os custos logísticos e proporcionando uma campanha de ensaio mais eficiente.

Ainda, Huf e Ulbrich (2012) destacam em seus trabalhos que o treinamento em simuladores de voo contribui na redução da taxa de acidentes aeronáuticos, melhorando a segurança das operações aéreas, trazendo mais economia de custo a longo prazo. Além do mais, uma vez que a atividade de ensaios em voo envolve riscos significativos tanto aos tripulantes quanto às aeronaves, o Simulador de Ensaio em Voo também se mostra fundamental para se evitar gastos com danos materiais.

Portanto, é possível constatar que a redução dos custos logísticos se empregando o Simulador de Ensaio em Voo não está relacionado apenas à redução dos custos com horas de voo, mas também aos custos que foram poupados com acidentes e incidentes que puderam ser evitados a partir da utilização do simulador como ferramenta de prevenção.

Assim, a inclusão de dados de modelos de simulação nos contratos de aquisição das aeronaves da FAB permitirá a redução dos custos logísticos nas campanhas, aprimorando as atividades de ensaios em voo do IPEV.

### 3 DISPOSIÇÕES FINAIS

O IPEV tem a missão de realizar ensaios em voo em apoio às necessidades da FAB, além de formar pessoal especializado. Como forma de auxiliar no desempenho de sua missão, o IPEV dispõe de um Simulador de Ensaios em Voo capaz de simular diferentes tipos de aeronaves a partir do carregamento de modelos de simulação. Entretanto, alguns contratos de aquisição de aeronaves da FAB não preveem a aquisição dos modelos de simulação do projeto, o que torna inviável a utilização do SEV por parte dos pilotos e engenheiros em ensaios futuros nestes projetos.

Para tal, a utilização do SEV com os modelos das aeronaves operadas pela FAB possibilitará melhoria na preparação, tanto das equipagens quanto das campanhas de ensaios, auxiliando na identificação e mitigação de riscos e proporcionando voos de ensaio mais seguros. Ainda, permitirá reduzir os custos logísticos das campanhas de ensaios do IPEV por meio da redução dos custos com horas de voo, bem como dos danos materiais resultantes de acidentes e incidentes.

Dessa forma, este ensaio confirmou que a inclusão de dados de modelos de simulação nos contratos de aquisição das aeronaves da FAB como requisito fundamental para aprimorar as atividades de ensaios em voo do IPEV, é possível e bastante viável.

Por fim, a inclusão dos modelos de simulação nos contratos de aquisição de aeronaves operadas pela FAB certamente beneficiará também os Esquadrões Aéreos no adestramento de seus tripulantes para missões operacionais em que um simulador comercial não é capaz de dar suporte. Também permitirá ao IPEV galgar patamares de excelência técnico-científicas cada vez maiores a fim de favorecer o desenvolvimento das capacidades dos modernos vetores F-39 *Gripen*, KC-390 *Millennium* e KC-30, contribuindo para que a Força Aérea Brasileira se mantenha projetada internacionalmente como uma Força com capacidade dissuasória, operacionalmente moderna e que atua de forma integrada para a defesa dos interesses nacionais.

## REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria EMAER nº 1.597/GC3, de 10 de outubro de 2018. Aprova a reedição da DCA 11-45 “Concepção Estratégica – Força Aérea 100”. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 180, p. 116-158, 15 out. 2018. Disponível em: [https://www.fab.mil.br/Download/arquivos/DCA%2011-45\\_Concepcao\\_Estrategica\\_Forca\\_Aerea\\_100.pdf](https://www.fab.mil.br/Download/arquivos/DCA%2011-45_Concepcao_Estrategica_Forca_Aerea_100.pdf). Acesso em: 10 mar. 2023.
- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria EMAER nº R-1/4SC1, de 10 de março de 2022. Aprova a tabela de custo logístico de hora de voo e esforço mínimo diário para o 1º semestre de 2022. **Boletim do Comando da Aeronáutica Reservado**, Rio de Janeiro, n. 10, f. 65, 16 mar. 2022.
- COOKE, A. K.; FITZPATRICK, E. W. H. **Helicopter Test and Evaluation**. 1ª ed. Oxford: Blackwell Science, 2002.
- DE MENDONÇA, C. B.; DA SILVA, E. T.; CURVO, M.; TRABASSO, L. G. Model-based flight testing. **Journal of aircraft**, v. 50, n. 1, p. 176-186, 2013.
- HINES, D. **RTO-AGARDograp-300: Simulation in support of Flight Testing**. v.19 - Flight Test Techniques Series. Neuilly-sur-Seine: North Atlantic Treaty Organization, 2000. Disponível em: <https://apps.dtic.mil/sti/pdfs/ADA385006.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2023
- HUF, S.; ULBRICH, A. Flight simulator training: Cost-effective and efficient. **Aviation Psychology and Applied Human Factors**, v. 2, n. 1, p. 1-9. 2012.
- UEHARA, A. F.; SILVA, B. G. O. **Design, development and application of the IPEV flight test simulator**. 48th SFTE International Symposium. Destin, FL, EUA. 30 Oct.- 3 Nov. 2017.