



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

DANIELLE OLIVEIRA DE ALMEIDA SIEBER, Cap Eng

**Emprego de softwares atualizados de simulação computacional no âmbito da Divisão de
Eletrônica do IAE**

Rio de Janeiro

2025

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA
DIVISÃO DE ENSINO
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

DANIELLE OLIVEIRA DE ALMEIDA SIEBER, Cap Eng

Emprego de softwares atualizados de simulação computacional no âmbito da Divisão de Eletrônica do IAE

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola 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: Ísis Beltrão Pereira, Cap Int

Rio de Janeiro

2025

DANIELLE OLIVEIRA DE ALMEIDA SIEBER, Cap Eng

Emprego de softwares atualizados de simulação computacional no âmbito da Divisão de Eletrônica do IAE

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

Presidente, Thiago Godinho Vieira, Maj Av - EAOAR

Ísis Beltrão Pereira, Cap Int - EAOAR

Rio de Janeiro

2025

RESUMO

A Divisão de Eletrônica (AEL) do Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) desempenha um papel estratégico no desenvolvimento de equipamentos e subsistemas eletroeletrônicos embarcados em veículos aeroespaciais. No entanto, limitações tecnológicas e laboratoriais, aliadas à alta complexidade técnica dos projetos aeroespaciais, podem comprometer a produtividade das equipes, assim como os prazos e os custos dos projetos. Nesse contexto, o emprego de softwares atualizados de simulação computacional de última geração é essencial para as atividades de Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I) realizadas no âmbito da AEL. A adoção de ferramentas modernas e avançadas de simulação computacional possibilita a otimização dos processos de desenvolvimento de equipamentos e subsistemas eletroeletrônicos embarcados na Divisão, devido à elevação da confiabilidade dos sistemas projetados com consequente redução de retrabalho, custos e prazos. Além disso, a criação de ambientes para testes em softwares contribui diretamente para a redução da dependência dos laboratórios próprios ou conveniados, cuja disponibilidade é cada vez mais limitada. Ao permitir a detecção antecipada de falhas por meio da prototipagem virtual, ainda nas fases iniciais dos projetos, esses recursos viabilizam a redução do número de ciclos de desenvolvimento e menos protótipos físicos são confeccionados e testados. Em um cenário de redução significativa no quadro de profissionais qualificados vivenciado pelo Instituto, essa proposta representa uma estratégia essencial para a preservação e expansão das capacidades de desenvolvimento em CT&I no âmbito do Comando da Aeronáutica (COMAER), além de estar em consonância com as diretrizes gerais estabelecidas pelo Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (PEMAER).

Palavras-chave: simulação computacional; projetos aeroespaciais; CT&I; sistemas eletroeletrônicos.

1 INTRODUÇÃO

O Instituto de Aeronáutica e Espaço (IAE) é uma Organização Militar (OM) responsável, em termos gerais, por conduzir pesquisas e serviços tecnológicos no campo da Ciência, Tecnologia e Inovação (CT&I), além de atuar no desenvolvimento e gerenciamento de projetos nos campos aeronáutico, de acesso ao espaço e de defesa. Dentro desse campo de atuação, cabe à Divisão de Eletrônica (AEL) deste Instituto a pesquisa, o projeto, o desenvolvimento, a integração e a realização de testes de equipamentos e subsistemas eletroeletrônicos embarcados em veículos aeroespaciais, bem como dos meios necessários para operações de lançamento, ensaios em voo e em solo.

Ao final de cada ciclo de desenvolvimento desses equipamentos e subsistemas, diversos testes e ensaios são realizados em protótipos fabricados na AEL para verificar a conformidade com os requisitos especificados. Caso seja identificada alguma não conformidade, o projeto deve ser reavaliado. Assim, em cada ciclo de desenvolvimento um novo protótipo é produzido e testado até que todos os requisitos sejam plenamente atendidos.

Atualmente, o desenvolvimento de produtos é realizado sem a utilização plena dos recursos tecnológicos disponíveis no mercado, recorrendo a ferramentas, instrumentos e softwares de simulação às vezes limitados ou desatualizados. Como consequência, são necessários múltiplos ciclos de desenvolvimento, exigindo o retrabalho ou a confecção de novos protótipos e a repetição dos ensaios. O processo torna-se ainda mais desafiador devido a agenda disputada dos laboratórios próprios ou conveniados disponíveis para a realização dos ensaios. A situação apresentada compromete a produtividade das equipes, afeta os prazos e eleva os custos dos projetos, especialmente em razão do alto valor das matérias-primas e dos componentes eletrônicos utilizados, muitos dos quais são importados.

Dessa forma, o emprego de softwares atualizados de simulação computacional de última geração é essencial para as atividades de CT&I realizadas no âmbito da AEL. A adoção desses recursos possibilita a otimização dos processos de desenvolvimento de equipamentos e subsistemas eletroeletrônicos embarcados na Divisão, devido à elevação da confiabilidade dos sistemas projetados com consequente redução de retrabalho, custos e prazos. Essa abordagem também contribui diretamente para a redução da dependência dos laboratórios próprios ou conveniados, ao permitir a detecção antecipada de falhas por meio da prototipagem virtual, ainda nas fases iniciais dos projetos. Assim, o número de ciclos de desenvolvimento é reduzido e menos protótipos físicos são confeccionados e testados.

Por fim, a ação proposta neste trabalho está em consonância com a diretriz geral de prospecção de tecnologias de acordo com as capacidades demandadas pelo Comando da Aeronáutica (COMAER) nas áreas aeroespacial e de defesa, estabelecida pelo Plano Estratégico Militar da Aeronáutica (PEMAER) para o macroprocesso de suporte “Ciência, Tecnologia e Inovação” (Brasil, 2024).

2 SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL EM PROJETOS AEROESPACIAIS

Os projetos na área da engenharia aeroespacial se destacam por sua elevada complexidade técnica, o que implica longos prazos de desenvolvimento e investimentos financeiros expressivos. Os desafios associados à gestão desses projetos são significativos, uma vez que a interdependência de fatores como tecnologias de ponta, disponibilidade de laboratórios para realização dos diversos ensaios, rigorosos requisitos de segurança e alterações nas especificações podem impactar de forma substancial a produtividade das equipes de desenvolvimento, os custos, assim como os cronogramas de entrega.

Essa situação torna-se ainda mais preocupante diante do atual cenário de redução no quadro de profissionais qualificados do Instituto, o que exige uma atuação mais eficiente das equipes de desenvolvimento para que as suas capacidades de execução não sejam comprometidas.

2.1 OTIMIZAÇÃO DOS PROCESSOS DE DESENVOLVIMENTO EM CT&I

No âmbito da AEL, o desenvolvimento de equipamentos e subsistemas eletrônicos é de responsabilidade da Subdivisão de Desenvolvimento (AEL-D), levando em consideração os requisitos especificados pela Subdivisão de Sistemas Eletroeletrônicos (AEL-S). Para realizar esse trabalho, a AEL-D utiliza softwares simuladores dedicados, entre eles, o OrCAD, o MATLAB e o CST *Studio Suite*.

O OrCAD é um software utilizado para desenvolvimento de circuitos esquemáticos, elaboração de layout de placa de circuito impresso (ou PCB, sigla derivada do termo em inglês *Printed Circuit Board*) e simulação de circuitos. As licenças disponíveis na Divisão são para a versão 2007 desse software. O software ainda possui o PSpice integrado, um simulador que permite a otimização e a análise prévia de circuitos eletrônicos, melhorando a confiabilidade dos projetos.

Adicionalmente, o MATLAB trata-se de uma plataforma de programação e computação numérica muito utilizada nos estudos e projetos realizados na AEL, capaz de realizar simulações, analisar dados, gerar gráficos, desenvolver algoritmos e criar modelos.

Por sua vez, o CST *Studio Suite* é o software de simulação eletromagnética 3D utilizado para realização de diversos estudos e pesquisas, projetos, análises e otimização de componentes e sistemas de alta frequências, como por exemplo, as antenas utilizadas nos diversos sistemas de veículos aeroespaciais (telemetria, telecomando, respondedor radar e GPS).

Apesar da existência desses softwares na AEL, é crucial que esses aplicativos estejam sempre atualizados, uma vez que as versões antigas disponíveis não possuem as funções e recursos mais avançados presentes nas mais recentes. Esses recursos agilizam e facilitam diversas atividades do processo de desenvolvimento e pesquisa realizadas na Divisão, possibilitando a redução dos retrabalhos, do tempo e dos custos dos projetos desenvolvidos. Para exemplificar, o recurso de integração mecânica presente na versão mais recente do software OrCAD possibilitaria que problemas de interface, fabricação e montagem fossem percebidos ainda na fase de projeto, evitando futuros retrabalhos. Em relação ao MATLAB, a última versão lançada pelo fabricante possibilita a realização de cálculos complexos e a geração rápida de diversos tipos de gráficos, agilizando a elaboração dos relatórios dos testes e estudos realizados pela Divisão.

O pacote de eletrônica completo da versão recente do Ansys HFSS, software de simulação eletromagnética 3D concorrente do CST, possui novas ferramentas avançadas para estudos e prototipagem virtual de antenas e demais dispositivos de radiofrequência (RF), possibilitando uma avaliação ampla e antecipada de diversos parâmetros. O pacote também contempla recursos para modelagem e simulação de PCBs, viabilizando diversas análises, inclusive de interferência e compatibilidade eletromagnética (EMI/EMC), tornando-se uma alternativa para outros aplicativos conhecidos nessa área (inclusive o OrCAD).

Dada a complexidade intrínseca da área, a definição de estratégias eficazes para projetar e otimizar as tarefas e os processos de desenvolvimento constitui uma questão central no gerenciamento de projetos aeroespaciais (Xiong *et al.*, 2015). A minimização da degradação da produtividade e da qualidade em um projeto é a chave para reduzir custos e atrasos no cronograma (Reichelt; Lyneis, 1999). Corroborando com esse pensamento, Chernyshev (2022) destacou que a introdução de tecnologias computacionais elimina a necessidade de retrabalho ou modificações posteriores no projeto, reduz os riscos técnicos e os custos, ao mesmo tempo que possibilita a criação de uma base de conhecimento robusta para projetos avançados e desenvolvimentos futuros. Dessa forma, diferentes tipos de softwares passaram a ser

desenvolvidos com a ideia de utilizar a simulação para otimizar processos, em função de seus principais benefícios (Murphy; Perera, 2001).

Diante desse cenário, é possível afirmar que o emprego de softwares atualizados de simulação computacional de última geração é essencial para as atividades de CT&I realizadas no âmbito da AEL, por viabilizar a otimização dos processos de desenvolvimento de equipamentos e subsistemas eletroeletrônicos embarcados nessa Divisão.

2.2 PROTOTIPAGEM VIRTUAL: REDUZINDO A DEPENDÊNCIA LABORATORIAL

Ao término de cada ciclo de desenvolvimento, são realizados diversos testes e ensaios em protótipos fabricados pela AEL-D, com o objetivo de verificar a conformidade dos equipamentos e subsistemas eletroeletrônicos com os requisitos previamente especificados. A condução desses ensaios é de responsabilidade da Subdivisão de Ensaios da AEL (AEL-E).

Os ensaios de desenvolvimento e qualificação de equipamentos e sistemas eletroeletrônicos destinados a veículos aeroespaciais exigem uma infraestrutura laboratorial complexa, capaz de verificar seu desempenho frente a diversos parâmetros, como os funcionais, climáticos (umidade, variações e choques térmicos), mecânicos (vibrações e choques) e de compatibilidade eletromagnética (EMC).

Os ensaios funcionais são, em geral, realizados nos laboratórios da AEL-E. Já os ensaios climáticos e mecânicos são conduzidos nos laboratórios da Divisão de Integração e Ensaios (AIE) do IAE ou do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os ensaios de EMC, por sua vez, são realizados em laboratórios especializados do INPE ou do Instituto de Fomento Industrial (IFI).

Quando são identificadas não conformidades durante os ensaios, o projeto deve ser reavaliado pela equipe de desenvolvimento, o que implica a necessidade de ajustes e, frequentemente, a fabricação de novos protótipos. Esses protótipos são então submetidos a novas rodadas de testes até que todos os requisitos especificados sejam plenamente atendidos. Esses ciclos reiterativos geram retrabalhos e intensificam a demanda pela infraestrutura laboratorial disponível, comprometendo os prazos de entrega dos projetos. Os atrasos são agravados pelo fato de os poucos laboratórios disponíveis serem fortemente demandados por diversas outras organizações. Consequentemente, a obtenção de novas janelas na agenda desses laboratórios torna-se difícil e demorada, o que prolonga o tempo necessário para a repetição dos testes, sempre que requerida.

A simulação computacional é uma ferramenta que facilita a análise antecipada de desempenho de diversos parâmetros em protótipos virtuais de sistemas complexos em desenvolvimento, usada para projetar e experimentar cenários que são refinados antes de serem colocados em prática (Murphy; Perera, 2001). Chernyshev (2022) destaca que métodos computacionais robustos podem reduzir significativamente os custos e o tempo envolvidos nos ensaios e testes, como os de certificação, ao mesmo tempo em que complementam os resultados experimentais com análises mais aprofundadas dos processos físicos.

Conforme Rui-Guang, Hong-Tian e Wan-You (2009), a prototipagem virtual já vem sendo empregada com sucesso em diversas aplicações, incluindo automóveis, veículos ferroviários, aeronaves e sistemas de combate. Segundo os autores, determinados parâmetros de projeto que apresentam maior complexidade de medição por métodos convencionais de ensaio em protótipos físicos podem ser rapidamente avaliados em ambientes virtuais de simulação. Como exemplo, Li, Lee e Wilson (2003) apresentam o procedimento de teste por meio de protótipo virtual para verificação do desempenho de um projeto complexo de fonte de alimentação. A capacidade de simulação ilustrada permite que um projetista detecte problemas de projeto antes mesmo da fabricação de um primeiro protótipo, contribuindo para uma significativa redução de tempo do ciclo do projeto.

Os ensaios de EMC são os que frequentemente geram não conformidades durante a fase de qualificação dos dispositivos. Para a realização desses ensaios, a AEL utiliza os laboratórios do IFI e do INPE, os quais atendem a uma ampla demanda proveniente de diversos institutos e empresas, o que dificulta a disponibilidade de agenda para novos testes.

Nesse contexto, a prototipagem virtual por meio da simulação computacional possibilita a avaliação do projeto, desde as fases iniciais do desenvolvimento, assegurando a conformidade com os requisitos de EMC em nível sistêmico. As versões mais recentes dos softwares da plataforma Ansys, assim como de outros simuladores avançados, já oferecem recursos para a criação de ambientes virtuais de teste, capazes de apoiar tanto o projeto quanto a verificação da compatibilidade eletromagnética. Esses ambientes simulam ensaios irradiados e conduzidos, nos modos de emissão e suscetibilidade. Em caso de falhas identificadas por meio da simulação, a equipe de desenvolvimento pode ajustar o projeto e realizar novas iterações virtuais, reduzindo significativamente os custos em relação à abordagem tradicional, baseada exclusivamente em testes com protótipos físicos.

Dessa forma, conclui-se que o emprego de softwares atualizados de simulação computacional de última geração é essencial para as atividades de CT&I realizadas no âmbito da AEL. O elevado nível de precisão alcançado nos protótipos projetados com o suporte dessas

ferramentas modernas e avançadas proporciona a redução da dependência dos laboratórios próprios ou conveniados utilizados na realização dos ensaios, uma vez que menos protótipos físicos são confeccionados e testados.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os projetos na área da engenharia aeroespacial se destacam por sua elevada complexidade técnica, o que implica longos prazos de desenvolvimento e investimentos financeiros expressivos. Para superar os desafios associados à gestão desses projetos, o emprego de softwares atualizados de simulação computacional de última geração é essencial para as atividades de CT&I realizadas no âmbito da AEL.

Os custos associados ao retrabalho, assim como a disponibilidade limitada de laboratórios próprios e conveniados, comprometem diretamente a continuidade das atividades de pesquisa e desenvolvimento, configurando como um fator crítico para a Divisão. A situação torna-se ainda mais preocupante diante do cenário atual de redução significativa no quadro de profissionais qualificados vivenciado pelo Instituto, exigindo uma atuação mais eficiente das equipes de desenvolvimento para que suas capacidades de execução não sejam comprometidas.

O uso estratégico da simulação computacional permite testar e validar projetos em ambientes virtuais que reproduzem, com precisão, as condições extremas enfrentadas em voo por sistemas embarcados em veículos aeroespaciais. Como resultado, tem-se a otimização dos processos de desenvolvimento de equipamentos e subsistemas eletroeletrônicos embarcados na Divisão, viabilizada pela diminuição no retrabalho das equipes, além da redução de prazos e custos associados aos projetos. Adicionalmente, a consequente diminuição do número de ciclos de desenvolvimento com o uso dessa ferramenta possibilita a redução da dependência dos laboratórios próprios ou conveniados, uma vez que menos protótipos físicos são confeccionados e testados.

Dessa forma, a ação apresentada neste trabalho contribui para a preservação e expansão das capacidades de desenvolvimento em CT&I no âmbito do COMAER. Ademais, a proposta está em consonância com as diretrizes gerais estabelecidas pelo PEMAER para o macroprocesso de suporte “Ciência, Tecnologia e Inovação”, especialmente no que se refere à prospecção de tecnologias de acordo com as capacidades demandadas pelo COMAER nas áreas aeroespacial e de defesa (Brasil, 2024).

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Defesa. Comando da Aeronáutica. Portaria GABAER nº 1.453/GC3, de 5 de junho de 2024. Aprova o Plano Estratégico Militar da Aeronáutica. **Boletim do Comando da Aeronáutica**, Rio de Janeiro, n. 107, p. 87-137, 10 jun. 2024. Disponível em: https://www.fab.mil.br/Download/arquivos/PEMAER_2024_2033.pdf. Acesso em: 16 abr. 2025.
- CHERNYSHEV, S. L. A review of Russian computer modeling and validation in aerospace applications. **Progress in Aerospace Sciences**, [s. l.], v. 128, p. 1-16, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.paerosci.2021.100766>. Acesso em: 25 mar. 2025.
- LI, Q. M.; LEE, F. C.; WILSON, T. G. Design verification and testing of power supply system by using virtual prototype. **IEEE Transactions on Power Electronics**, [s. l.], v. 18, n. 3, p. 733-739, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/TPEL.2003.810845>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- MURPHY, C. A.; PERERA, T. D. The definition and potential role of simulation within an aerospace company. *In*: WINTER SIMULATION CONFERENCE, 2001, Arlington. **Proceedings** [...]. Piscataway: IEEE, 2001. v. 2, p. 829-837. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/WSC.2001.977380>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- REICHEL, K.; LYNEIS, J. The dynamics of project performance: benchmarking the drivers of cost and schedule overrun. **European Management Journal**, [s. l.], v. 17, n. 2, p. 135-150, 1999. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0263-2373\(98\)00073-5](https://doi.org/10.1016/S0263-2373(98)00073-5). Acesso em: 9 abr. 2025.
- RUI-GUANG, G.; HONG-TIAN, Z.; WAN-YOU, L. Virtual prototype collaborative modeling & simulation technology for propulsion device of special ship. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NATURAL COMPUTATION, 5., 2009, Tianjian. **Proceedings** [...]. Piscataway: IEEE, 2009. v. 6, p. 473-476. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/ICNC.2009.121>. Acesso em: 14 abr. 2025.
- XIONG, W.; LIU, C.; ZHAO, Q.; YANG, K. DSM-based complex aerospace projects development process design and optimization. *In*: ANNUAL IEEE SYSTEMS CONFERENCE (SYSCON), 2015, Vancouver. **Proceedings** [...]. Piscataway: IEEE, 2015. p. 409-415. Disponível em: <https://doi.org/10.1109/SYSCON.2015.7116785>. Acesso em: 26 mar. 2025.