



## ANÁLISE E PROPOSIÇÃO DA SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENSINO DA ENGENHARIA AEROESPACIAL

**Gabriel Y. R. Hamada** – gyrhamada@gmail.com  
**Gabriela C. L. Lopes** – gabriela.caroline@grad.ufsc.br  
**Lucas R. Neme** – lucasneme9@hotmail.com  
**Antônio O. Dourado** – a.dourado@ufsc.br  
**Carlos M. Sacchelli** – carlos.sacchelli@gmail.com  
Centro Tecnológico de Joinville - CTJ  
Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC  
Rua Dr. João Colin, 2700, Bairro Santo Antônio  
89218-035 – Joinville – Santa Catarina

**Resumo:** Ferramentas de simulação computacional são utilizadas na educação, auxiliam na organização de projetos e no treinamento de pessoas. Este artigo pretende demonstrar alternativas de utilização da simulação computacional para o ensino de temas relacionados à engenharia aeroespacial, apresentando alguns softwares e suas aplicações, auxiliando desta maneira na formação de profissionais mais preparados para o mercado de trabalho. A metodologia consistiu na aquisição de dados utilizando um questionário aplicado aos estudantes de engenharia aeroespacial e pesquisa bibliográfica. A partir dos dados obtidos foi traçado um perfil dos softwares que podem ser utilizados nas universidades e realizado a descrição de alguns deles.

**Palavras-chave:** Simulação, Software, Engenharia Aeroespacial, Educação.

### 1. INTRODUÇÃO

O ensino de engenharia no Brasil, muitas vezes, não cumpre com a missão de aproximar o conteúdo teórico ao prático. A precariedade ou até ausência da utilização de ferramentas computacionais, a falta de laboratórios e dificuldades em vincular o aprendizado com projetos de iniciação científica são fatores que podem contribuir para a formação deficitária e até mesmo a evasão dos cursos de engenharia.

Algumas instituições utilizam o método de aprendizado baseado em problemas, nesta metodologia, os alunos participam de diversos tipos de projetos que os estimulam a desenvolver pensamento crítico e integrar o conhecimento adquirido. A implementação de tal metodologia de ensino é um processo complexo que exige estratégia e adequação das instituições de engenharia (BLAIR, 2002).

A utilização de recursos computacionais e em especial a simulação computacional voltada para o aprendizado auxilia, de acordo com Sancho (2001), na promoção do pensamento rigoroso, na compreensão de conceitos gerais, na aquisição da arte heurística, na depuração de erros como uma atitude reconstrutiva do pensamento, na invenção de soluções e na conscientização de que não existe um único meio de se chegar a uma solução.



A simulação computacional é uma ferramenta que é fortemente utilizada no desenvolvimento do projeto em geral e em especial no de aeronaves e estruturas aeroespaciais, sendo que sua aplicação abrange parte significativa do tempo e dos recursos humanos disponíveis. Portanto, saber como e quando realizar uma simulação computacional tornou-se uma habilidade intrínseca de um engenheiro.

A vantagem de se utilizar a simulação computacional como ferramenta está no fato de que se pode testar o projeto com custo relativamente baixo e sem riscos. Entretanto, deve-se atentar aos erros gerados pelo método numérico e as simplificações utilizadas ao abordar o problema. Por exemplo, em simulação de voo, pode se testar designs de aeronaves sem o alto custo da manufatura do protótipo e sem submeter um piloto de testes a riscos de vida caso haja algum defeito grave de projeto. Para que a simulação seja eficaz, no entanto, esta deve seguir alguns requisitos: o sistema de movimentação, visual e sonoro da simulação deve ser em tempo real e o *software* deve ser fiel ao projeto de aeronave utilizado (ALLERTON, 2009).

Desta maneira este trabalho se justifica, pois com a simulação numérica é possível auxiliar na compreensão do conteúdo teórico apresentado em sala e também ambientar o estudante às ferramentas computacionais utilizadas no meio profissional. Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho é de analisar e propor alternativas de uso de softwares de engenharia durante a graduação no curso de engenharia aeroespacial.

## 2. METODOLOGIA

A metodologia adotada para este trabalho foi uma pesquisa descritiva, analisando os resultados de um questionário aplicado a estudantes do curso de engenharia aeroespacial, com a finalidade de esclarecer como é atualmente a utilização de ferramentas de simulação computacional e também de identificar quais os softwares mais utilizados.

Na sequência foi realizada uma pesquisa bibliográfica sobre a simulação computacional na área de engenharia aeroespacial, fundamentada na estrutura curricular do curso de Engenharia Aeroespacial da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Com base no resultado do questionário e da revisão bibliográfica foi realizada uma catalogação dos softwares interessantes para os estudantes e propostas de como incorporá-los na graduação do curso de engenharia aeroespacial.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

O questionário aplicado foi composto por duas etapas, caracterizar o estudante de acordo com seu progresso no curso e identificar o emprego da simulação.

A primeira etapa foi composta pelas questões:

1. Está cursando qual semestre de engenharia aeronáutica ou aeroespacial?
2. Já utilizou algum *software* durante a graduação?

A segunda etapa foi dividida em dois casos, se a resposta da segunda questão é afirmativa ou se é negativa.



Caso afirmativo:

3. O que o *software* fazia?
4. Quais eram os *softwares*?
5. Você achou a utilização dos *softwares* úteis para o aprendizado?
6. Em quais disciplinas os *softwares* foram utilizados?
7. De quais semestres eram as disciplinas?
8. Em quais disciplinas citadas acima a utilização do *software* foi obrigatória?
9. Você já usou algum *software* de simulação em algum projeto extracurricular?
10. Se sim, quais *softwares*?

Caso negativo:

11. Você acha que a utilização de *softwares* seria útil na sua formação?
12. Se sim, que tipo de *softwares*?

A pesquisa foi realizada com 44 estudantes e com a análise dos dados obtidos foi possível averiguar que cerca de 70% dos alunos participantes já tiveram contato com *softwares*. Aproximadamente 30% destes alunos tem seu primeiro contato de maneira facultativa no primeiro semestre por meio de *softwares* matemáticos como WolframAlpha, GeoGebra e o Microsoft Excel, durante a matéria de Cálculo I.

Na pesquisa realizada, foi verificado que o primeiro contato com um *software* voltado a engenharia acontece, para aproximadamente 65% dos estudantes, com o *software* SolidWorks na matéria de Desenho e Modelagem Geométrica durante o segundo semestre.

Cerca de 30% dos estudantes responderam que nunca tiveram contato com algum *software* mas 75% deles pertenciam aos primeiro ano da graduação, indicando que a probabilidade de se depararem com um *software* durante a graduação é bastante relevante.

Outro fator inferido pelo questionário foi que 100% dos estudantes que tiveram contato com algum *software* acharam-no útil para o aprendizado e 100% dos estudantes que não tiveram contato acham que a utilização de *softwares* seria útil durante a formação.

A maioria dos estudantes que estão a mais de três anos na faculdade utilizaram *softwares* de simulação em projetos extracurriculares, sendo que os mais utilizados foram SolidWorks, Ansys, MATLAB e Scilab, além de codificação própria.

A partir do questionário foi possível analisar os *softwares* utilizados pelos estudantes e segmentar de acordo com a aplicabilidade baseada na estrutura curricular do curso de Engenharia Aeroespacial da UFSC. Na sequência serão descritos alguns *softwares* que podem ser utilizados para a realização da simulação computacional.

### 3.1. Classificação dos *Softwares*

Os *softwares* foram classificados em algumas grandes áreas que facilitam a visualização das suas aplicações, sendo:

- Sistemas de álgebra computacional: EES, GeoGebra, MATLAB, Scilab
- Modeladores geométricos: SolidWorks, NX

Organização



Promoção





- Análise fluídica/estrutural: AVL, OpenRocket, XFOIL, Ansys
- Análise térmica/elétrica: Festo FluidSIM, Ltspice, Ansys
- Simulação (Voo, orbital): X-Plane, STK, Ansys

### 3.2. Descrição dos Softwares

Para uma melhor compreensão dos *softwares* utilizados no curso de engenharia foi realizada uma pesquisa baseado em *sites* de buscas, sendo eles:

**AVL:** Ferramenta de análise aerodinâmica, de dinâmica de voo e cálculo de *trim* de aeronaves rígidas em condições arbitrárias. Utiliza o método numérico *Vortex-Lattice*, útil para os primeiros estágios do design já que tal método despreza a viscosidade. (DRELA; YOUNGREN, 2004). O programa pode ser adquirido gratuitamente *online*.

**OpenFOAM:** Utilizado na maioria das áreas de engenharia e ciência, *o software* permite análises de escoamentos complexos envolvendo reações químicas, turbulência e trocas de calor, e, também, análises de estruturas mecânicas, aeroacústica e eletromagnetismo. Uma versão simplificada do programa está disponível gratuitamente *online*.

**OpenVSP:** É uma ferramenta geométrica que permite o *design* de aeronaves utilizando parâmetros comuns na engenharia. É *open source*, foi desenvolvido pela NASA e pode ser processado em formatos adequados à análise em diferentes softwares. Há versões disponíveis para *download* na internet.

**X-Plane:** É um ótimo simulador de voo, resultado de 20 anos de desenvolvimento, compatível com o uso de computador pessoal. Há 3000 aeronaves disponíveis para simulação e a estrutura do *software* é aberta, permitindo a personalização de aspectos das aeronaves.

**XFOIL:** Programa interativo de design e análise de perfil de asa subsônico. Permite a análise invíscida, design e *redesign* a partir da alteração da distribuição de velocidade de superfície e modificação dos parâmetros geométricos. A ferramenta pode ser baixada facilmente *online*.

**OpenRocket:** Simulador de foguetes que permite o *design* e simulação do foguete com voo de 6 graus de liberdade e o *design* é otimizado automaticamente. Modelo do vento durante o voo é realístico e o efeito da estabilidade, do arrasto e rolamento são analisadas separadamente. *Software* disponível para *download*.

**Festo FluidSIM:** *Software* que permite criação, com interface intuitiva para fácil usabilidade, e simulação de circuitos digitais, assim como estudo da eletropneumática e eletro hidráulica.

**Ltspice:** *Software* gratuito que implementa o programa de simulação com ênfase em circuitos integrados (SPICE), ou seja, simula circuitos elétricos e eletrônicos em geral, versões atualizadas estão disponíveis para *download*.



**SolidWorks:** *Software* possui ferramentas 3D com objetivo de auxiliar no projeto de um novo produto ou uma nova estrutura. Além de permitir a modelagem, há opções para simulações e interações com outros *softwares* disponíveis no mercado. É um *software* de fácil utilização e, portanto, uma ótima opção para modelagem de produtos com facilidade, rapidez, e com custos de desenvolvimentos reduzidos.

**SimScale:** A ferramenta é capaz de fazer simulações complexas de escoamentos de fluidos, analisar sólidos e suas resistências e prever o comportamento do sistema na influência de efeitos térmicos. O programa não necessita de instalação, é utilizado diretamente no *browser*. Uma versão simplificada do *software* está disponível gratuitamente na internet.

**EES:** O programa resolve numericamente equações algébricas não lineares, equações diferenciais e integrais complexas. É, também, utilizado para análises, otimizações, regressões, converter unidades, checar consistência das unidades, além de plotar gráficos. É de grande utilidade no ramo da termodinâmica.

**MATLAB:** Utilizado para modelar e analisar produtos e sistemas. O *software* possui ferramentas computacionais que auxilia com cálculos numéricos, construção de gráficos, fornece facilidade na visualização e programação.

**Scilab:** Ferramenta computacional com grande utilidade em problemas de engenharia e científicos por permitir uma computação numérica de qualidade. Utilizado para operações matemáticas, análises de dados, construção de gráficos, além de possuir ferramentas para otimização, processamento de sinais e controle de sistemas. Disponível gratuitamente para diversas plataformas.

**GeoGebra:** Programa que permite realizar construções geométricas com a utilização de pontos, retas, segmentos de reta, polígonos, etc. Permite também inserir funções e alterar todos esses objetos dinamicamente, após a construção estar finalizada. É um software gratuito desenvolvido por Markus Hohenwarter.

**Ansys:** *Software* especializado em simulações em geral, com pacotes para simulação de fluidos (Ansys CFD) e para análise de elementos finitos (Ansys Mechanical).

**STK:** Pacote de *software* desenvolvido para auxiliar na resolução de problemas envolvendo órbitas de satélite. Permite análises complexas do solo, ar, mar e espaço, obtendo muitas outras aplicações. Uma versão teste do programa pode ser adquirida *online* gratuitamente.





**Siemens NX, CATIA e Pro ENGINEER:** São multiplataformas que integram várias ferramentas CA's (CAD/CAE/CAM/CAT/CAPP) facilitando o design, simulação, documentação e produção de melhores produtos. Fornecem ferramentas que contribuem para decisões mais corretas em um ambiente de desenvolvimento de produtos.

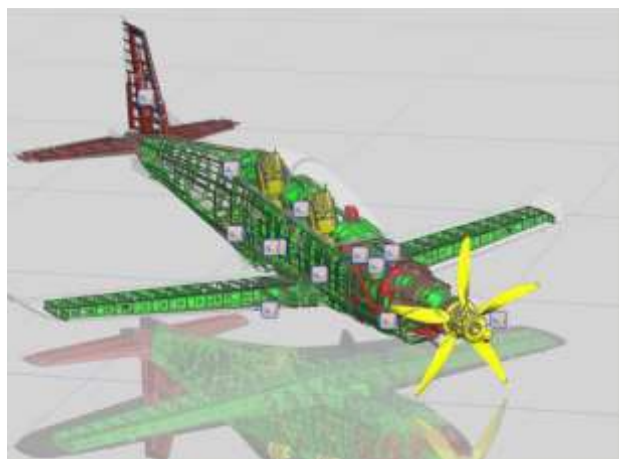
### 3.3. Possíveis aplicações

Com base nas pesquisas realizadas serão propostas alternativas de ensino de temas relacionados ao curso de engenharia aeroespacial com o uso da simulação computacional, com a finalidade de auxiliar na compreensão do conteúdo teórico apresentado em sala e também ambientar o estudante às ferramentas computacionais utilizadas no meio profissional.

Os sistemas de álgebra computacional podem ser introduzidos durante as matérias de cálculo, álgebra e física, como auxílio visual na geração de gráficos ou na resolução de problemas algébricos complexos.

Já os modeladores geométricos são introduzidos na UFSC durante a matéria de desenho e modelagem geométrica. Ferramenta muito utilizada durante a concepção de componentes em um projeto, tem um grande papel na graduação pois a geometria pode ser exportada para realização de várias simulações. Um exemplo de aplicação é a Figura 1, na qual se observa o design de uma aeronave elaborado no Siemens NX.

Figura 1 - Siemens NX.

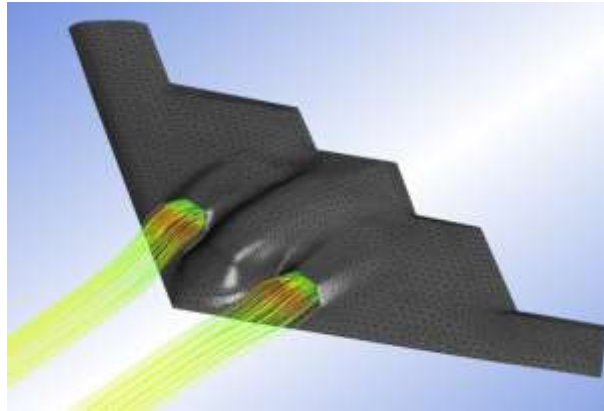


Fonte: Solid Edge and NX, 2017.

A análise fluidica e estrutural anda em conjunto no setor aeroespacial. A análise estrutural geralmente é realizada baseada nas cargas aplicadas à estrutura pelo fluido. Durante a graduação, pode ser utilizada em matérias de projetos de aeronaves e veículos lançadores, dinâmica do voo, estruturas aeroespaciais, aerodinâmica, entre outras. Muitas matérias que possuem análises de escoamentos podem utilizar um *software* para facilitar a compreensão dos alunos. Uma aplicação de análise fluidica em projetos de aeronaves pode ser observada na Figura 2, simulação realizada no ANSYS.



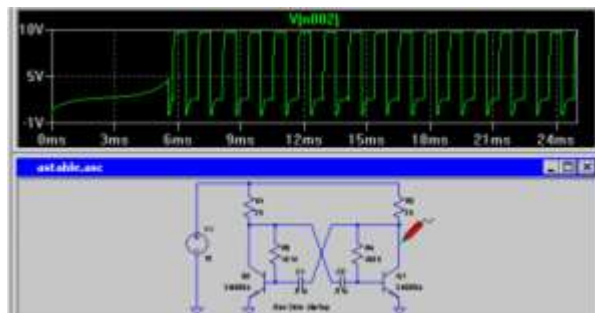
Figura 2- ANSYS.



Fonte: Excellence in aerospace engineering simulation.

As análises térmicas e elétricas podem ser realizadas durante as matérias que envolvem elétrica, transferência de calor e propulsão como ferramentas de auxílio ou como meios de consolidação do conteúdo. A Figura 3 é um exemplo de análise elétrica simulada no LTSpice.

Figura 3- LTSpice.



Fonte: Eletronic circuits, 2017.

A Tabela 1 apresenta possíveis aplicações de softwares de acordo com as disciplinas presentes no Projeto Pedagógico do curso (PPC) de Engenharia Aeroespacial da UFSC.



Tabela 1 – Exemplo de aplicação dos softwares durante a graduação

Disciplinas	Softwares	Aplicações
Cálculo I, Geometria Analítica, Cálculo II, Cálculo Vetorial, Estatística e Probabilidade	MATLAB, Scilab, GeoGebra	Ambientalização dos alunos aos <i>softwares</i> com a utilização das ferramentas básicas como geração de gráficos e resolução de exercícios.
Mecânica dos Sólidos I e II, Transferência de Calor I e II, Mecânica dos Fluidos, Aerodinâmica, escoamentos Compressíveis, Elementos de Máquinas, Vibrações, Fundamentos da Combustão	MATLAB, Scilab, XFOIL, Ansys, EES	Resolução de exercícios com auxílio de ferramentas matemáticas, geração de gráficos e simulações que exemplifiquem o problema abordado.
Estruturas Aeroespaciais, Mecânica do Voo, Mecânica do Voo Espacial	AVL, Ansys, OpenVSP, X-Plane, NX, CATIA, Pro Engineer, SimScale	Modelagem e simulações complexas utilizando análise fluidica e estrutural.
Engenharia de Veículos Aeroespaciais, Engenharia de Plataformas Orbitais	STK, Ansys, NX, CATIA, Pro Engineer, OpenRocket	Utilizar os <i>softwares</i> como ferramentas de auxílio durante a realização do projeto.
Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos	Festo FluidSIM	Simulação dos circuitos hidráulicos, pneumáticos, eletropneumáticos e eletrohidráulicos.
Eletrônica Analógica	LTspice	Simulação de circuitos elétricos e eletrônicos em geral.
Processos de Fabricação	NX, CATIA, Pro Engineer	Introdução das ferramentas CA's utilizados nos diversos processos de fabricação .
Aerodinâmica e Hipersônica, Acústica para Engenharia Aeroespacial, Propulsão Aeroespacial I, II e III	OpenFOAM, Ansys,	Simulação de sistemas fluidicos térmicos.

Os softwares de simulação listados são utilizados nas matérias de projetos, onde se busca otimizar todos os aspectos possíveis.

A grande quantidade de conteúdo a ser ministrado durante a carga horária letiva dificulta a inserção de simulação na ementa do projeto pedagógico. Contudo, na pesquisa observa-se que os estudantes que utilizaram algum software durante a





graduação o consideraram útil. A partir disso foi possível inferir que os alunos possuem interesse em obter conhecimento mais aprofundado no assunto. Tornando o desenvolvimento de cursos de extensão, *workshops*, incentivo à participação em cursos *online* e projetos de extensão propostas viáveis para a utilização das ferramentas computacionais na graduação sem comprometer o aprendizado teórico.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito do artigo foi analisar a presença de simulações computacionais no ambiente universitário e apresentar alguns softwares utilizáveis durante a graduação. O questionário permitiu quantificar a presença da simulação e expor os principais softwares utilizados.

Após a classificação e descrição dos softwares foram propostas aplicações das ferramentas computacionais baseadas na grade curricular da Engenharia Aeroespacial da UFSC.

Devido a quantidade de conteúdo teórico e pelo tempo restrito para ministrá-lo, adquirir tempo durante as aulas para introduzir os softwares é, de certa maneira, inviável. Portanto, foram propostos minicursos, videoaulas e workshops para introduzir os softwares fora do horário de aula.

#### *Agradecimentos*

Os autores agradecem ao Programa de Educação Tutorial – PET MEC/FNDE pelas bolsas concedidas.

#### REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

AGI. Disponível em: <<https://www.agi.com/products/engineering-tools/development-tools>>. Acesso em: 19 maio 2017.

ALLERTON, David. Introduction: Pilot cues. In: ALLERTON, David. PRINCIPLES OF FLIGHT SIMULATION. Chippenham: Aiaa Educational Series, 2009. Cap. 1, p. 27.

BLAIR, K., & Miller, D. W., & Darmofal, D., & Young, C. P. W., & Brodeur, D. (2002, June), Problem Based Learning In Aerospace Engineering Education Paper presented at 2002 Annual Conference, Montreal, Canada. <https://peer.asee.org/10974>

DRELA, Mark; YOUNGREN, Harold. AVL: AVL overview. 2004. Disponível em: <<http://web.mit.edu/drela/Public/web/avl/>>. Acesso em: 13 fev. 2017.

HARWOOD, Robert. Excellence in Aerospace Engineering Simulation. Disponível em: <<http://www.ansys-blog.com/aerospace-engineering-simulation/>>. Acesso em: 17 maio. 2017.



**MathWorks.** Disponível em: <<https://de.mathworks.com/discovery/matlab-vs-r.html>>. Acesso em: 19 maio 2017.

MINGS, Josh. **5 Things You want to Know about Siemens, Solid Edge and NX.** Disponível em: <<http://www.solidsmack.com/cad-design-news/5-things-to-know-siemens-solid-edge-nx-synchronous-technolog/>>. Acesso em: 19 maio 2017.

SANCHO, J. M. Para uma tecnologia educacional. Porto Alegre: ARTMED, 2001.

## ANALYSIS AND PROPOSITION OF COMPUTATIONAL SIMULATION ON AEROSPACE ENGINEERING EDUCATION

**Abstract:** *Simulation tools are used to support education, to assist on the organization of projects and on the training of people. This paper intends to demonstrate alternatives to use simulation as a method of teaching aerospace topics, and introducing some softwares and their applications, thus, assisting on the education of more prepared professionals to the job market. The methodology consisted in data acquisition by means of a questionnaire with aerospace engineering students and bibliography review. Based on the data, the most serviceable softwares in university were presented and described.*

**Key-Words:** *Simulation, Software, Engineering, Education.*